

PUERTOS VERDES

— EN LATINOAMÉRICA —

Transición ambiental y descarbonización
de la logística portuaria



SOSTENIBILIDAD



DESCARBONIZACIÓN



ECONOMÍA CIRCULAR



INNOVACIÓN Y
TECNOLOGÍA

Hacia una logística portuaria
sostenible, eficiente e inclusiva
para un futuro resiliente.



AUTORES

Docentes y Estudiantes
de Logística Portuaria

Puertos verdes en Latinoamérica: Transición ambiental y descarbonización de la logística portuaria

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Karla Sánchez Mite | 13. Anahi Cantos Sančan |
| 2. Dannia Castro Díaz | 14. Denisse Guzman Corozo |
| 3. Julexi Moran Castro | 15. Ginger Macias Arauz |
| 4. Karen Pachay Medina | 16. Delia Decker Coloma |
| 5. Danny Alvear Caguana | 17. Ricardo Andrés Choez Figueroa |
| 6. Gabriela Pacheco Muñiz | 18. Claudio Jair Rodríguez Silva |
| 7. Ronald Muñoz Mayea | 19. Jorge Enrique Rosas Cando |
| 8. Paola Cabanilla García | 20. Alexandra Meza Herrera |
| 9. Kelly Alcívar Quinto | 21. Dayana Arboleda Flores |
| 10. Diego Holguín Tomalá | 22. Emily Duarte Conforme |
| 11. Ginger Icaza Paredes | 23. Melody Moya Willa |
| 12. Liliana González Rodríguez | |

La presente obra fue revisada por 2 pares académicos externos ciegos conforme al proceso editorial del Centro de Investigación Latinoamericano para el Desarrollo e Innovación CILADI. Los rigurosos procedimientos editoriales de CILADI garantizan la selección de manuscritos por sus aportes significativos al conocimiento y cualidades científicas. Todas las obras publicadas por CILADI cuentan con ISBN y se encuentran disponibles en la web (www.ciladi.org)



Centro de Investigación Latinoamericano
para el Desarrollo e Innovación
Guayaquil- Ecuador
<https://ciladi.org/>

AÑO 2026

Copyright © 2026

Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9942-696-28-1

PRÓLOGO

Los puertos constituyen infraestructuras esenciales para el desarrollo económico, la integración comercial y la conectividad de las naciones. Sin embargo, los desafíos ambientales contemporáneos exigen reconsiderar los modelos tradicionales de operación logística y avanzar hacia sistemas capaces de armonizar la competitividad con la protección de los recursos naturales. En este escenario, la sostenibilidad portuaria adquiere una relevancia estratégica, especialmente para América Latina, una región en la que el comercio marítimo representa una oportunidad fundamental para el crecimiento y la integración económica.

La transformación ambiental del sector portuario demanda una visión interdisciplinaria que integre conocimientos técnicos, capacidades institucionales, innovación tecnológica y responsabilidad social. En este proceso, la investigación académica desempeña un papel fundamental al proporcionar marcos conceptuales, herramientas analíticas y perspectivas críticas que contribuyan a comprender los retos de la transición sostenible. Asimismo, la colaboración entre universidades, autoridades portuarias, empresas y comunidades constituye una condición importante para promover soluciones pertinentes y adaptadas a las realidades de cada territorio.

Desde el Centro de Investigación Latinoamericano para el Desarrollo e Innovación, CILADI, reconocemos el valor de las publicaciones académicas como instrumentos para ampliar el conocimiento, estimular el debate científico y fortalecer los vínculos entre la investigación y los desafíos del desarrollo regional. Confiamos en que esta obra contribuya a fomentar nuevas reflexiones sobre el futuro de la logística portuaria y a impulsar una cultura de innovación, eficiencia y compromiso ambiental. Su publicación representa una oportunidad para continuar construyendo conocimiento orientado hacia un desarrollo latinoamericano más sostenible, competitivo y responsable.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE LOS PUERTOS VERDES Y LA
SOSTENIBILIDAD PORTUARIA

PÁGINA # 7

CAPÍTULO 2

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS PUERTOS
LATINOAMERICANOS

PÁGINA # 44

CAPÍTULO 3

DESCARBONIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA PORTUARIA

PÁGINA # 93

CAPÍTULO 4

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LOS PUERTOS VERDES

PÁGINA #134

CAPÍTULO 5

TRANSICIÓN HACIA PUERTOS VERDES: EXPERIENCIAS
LATINOAMERICANAS

PÁGINA #192

CAPÍTULO 6

PROPUESTA DE MODELO DE PUERTO VERDE PARA ECUADOR Y
LATINOAMÉRICA

PÁGINA #268

CAPITULO 1

Fundamentos De Los Puertos Verdes Y La Sostenibilidad Portuaria

Sánchez Mite Karla

Castro Díaz Danna

Moran Castro Julexi

Pachay Medina Karen

Resumen

El presente capítulo analiza los fundamentos conceptuales de los puertos verdes y su relación con la sostenibilidad ambiental, económica, social e institucional de la actividad portuaria. Para ello, se parte de la evolución de los puertos tradicionales y de su transformación hacia sistemas logísticos más complejos, integrados con nuevas exigencias de eficiencia, innovación y responsabilidad ambiental. Posteriormente, se examina el concepto de puerto verde desde perspectivas institucionales y científicas, destacando que su aplicación no depende únicamente de incorporar tecnologías limpias, sino de integrar criterios ambientales en la planificación, inversión, operación, seguimiento y toma de decisiones. Además, se estudia la relación de la sostenibilidad portuaria con la Agenda 2030, la economía azul, la economía circular y los criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG). El análisis muestra que la transición hacia puertos verdes requiere indicadores verificables, capacidad institucional, inversión, cooperación entre actores y adaptación a las características de cada sistema portuario. Como evidencia comparativa, se revisan los casos de Rotterdam y Hamburgo, cuyos avances en electrificación, suministro eléctrico desde tierra, digitalización y transición energética demuestran que no existe un modelo único de puerto verde. En consecuencia, para América Latina resulta más adecuado adaptar principios y estrategias internacionales a las condiciones económicas, tecnológicas, territoriales y ambientales de cada puerto, en lugar de reproducir de manera directa experiencias desarrolladas en contextos europeos.

Palabras clave: puertos verdes, sostenibilidad portuaria, economía azul, economía circular, ESG, descarbonización.

Abstract

This chapter analyzes the conceptual foundations of green ports and their relationship with the environmental, economic, social, and institutional sustainability of port activities. It begins with the evolution of traditional ports and their transformation into more complex logistics systems, increasingly connected with new requirements for efficiency, innovation, and environmental responsibility. The concept of a green port is then examined from both institutional and scientific perspectives, emphasizing that its implementation does not depend only on the adoption of clean technologies, but also on the integration of environmental criteria into planning, investment, operations, monitoring, and decision-making processes. In addition, the chapter explores the relationship between port sustainability and the 2030 Agenda, the blue economy, the circular economy, and environmental, social, and governance (ESG) criteria. The analysis shows that the transition toward green ports requires measurable indicators, institutional capacity, investment, cooperation among stakeholders, and adaptation to the characteristics of each port system. As comparative evidence, the cases of Rotterdam and Hamburg are examined. Their progress in electrification, shore power, digitalization, and energy transition demonstrates that there is no single model for developing a green port. Therefore, for Latin America, it is more appropriate to adapt international principles and strategies to the economic, technological, territorial, and environmental conditions of each port rather than directly reproducing experiences developed in European contexts.

Keywords: green ports, port sustainability, blue economy, circular economy, ESG, decarbonization.

Objetivos

Objetivo general

1. Analizar los fundamentos conceptuales de los puertos verdes y su relación con la sostenibilidad ambiental, económica, social e institucional de la actividad portuaria.

Objetivos específicos

1. Explicar la evolución de los puertos tradicionales y los elementos que caracterizan el modelo de puerto verde.
2. Examinar la relación entre la sostenibilidad portuaria, la Agenda 2030, la economía azul, la economía circular y los criterios ambientales, sociales y de gobernanza.
3. Identificar las estrategias y los principios que orientan la transición hacia puertos verdes, considerando su posible adaptación a los puertos latinoamericanos.

Introducción

Los puertos han dejado de ser espacios destinados únicamente al intercambio de mercancías entre los buques y el transporte terrestre. En la actualidad, representan puntos estratégicos para el comercio exterior, la generación de empleo y la conexión entre distintos mercados. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo señala que alrededor del 80 % del volumen del comercio internacional de bienes se transporta por vía marítima, lo cual permite comprender la importancia que mantienen estas instalaciones dentro de la economía mundial (UNCTAD, 2024). Sin embargo, el crecimiento de las operaciones portuarias también produce efectos que no deben ignorarse, como las emisiones atmosféricas, el consumo elevado de energía, la generación de residuos, el ruido y la presión sobre los ecosistemas costeros. Esta realidad ha generado la necesidad de revisar el funcionamiento tradicional de los puertos y avanzar hacia modelos capaces de mantener su productividad sin descuidar la protección ambiental ni las condiciones sociales de las comunidades cercanas.

En este contexto aparece el concepto de puerto verde, entendido como un modelo de gestión que integra eficiencia operativa, responsabilidad ambiental, innovación tecnológica y participación de los distintos actores relacionados con la actividad portuaria. Su propósito no consiste solamente en disminuir la contaminación, sino también en transformar la manera en que se utilizan la energía, las materias primas y la infraestructura. Entre las medidas que pueden formar parte de este proceso se encuentran la electrificación de equipos, el suministro de energía a los buques desde tierra, el aprovechamiento de fuentes renovables, la reducción de residuos y el control de las emisiones. Esta transición adquiere mayor importancia frente a los compromisos internacionales de descarbonización. La Organización Marítima Internacional estableció como aspiración alcanzar emisiones netas nulas de gases de efecto invernadero en el transporte marítimo

internacional alrededor de 2050, considerando las diferentes circunstancias nacionales (OMI, 2023). Por lo tanto, los puertos también deben preparar su infraestructura para acompañar los cambios tecnológicos y energéticos del sector.

La sostenibilidad portuaria se relaciona, además, con la Agenda 2030 y con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente aquellos vinculados con infraestructura resiliente, ciudades sostenibles, producción responsable, acción climática y protección de los océanos. La Agenda 2030 reconoce que el crecimiento económico, la inclusión social y la conservación ambiental son dimensiones que deben desarrollarse de manera conjunta (Naciones Unidas, 2015). Desde esta perspectiva, la economía azul permite aprovechar los recursos marinos sin comprometer su continuidad, mientras que la economía circular propone reducir el desperdicio mediante la reutilización, reparación y transformación de materiales. A estos enfoques se añaden los principios ambientales, sociales y de gobernanza, conocidos como ESG, que permiten valorar la actuación de una organización más allá de sus resultados financieros. En el ámbito portuario, estos principios ayudan a examinar las emisiones, las condiciones laborales, la relación con las comunidades, la transparencia institucional y la forma en que se toman las decisiones.

A partir de estas consideraciones, el capítulo aborda la evolución de los puertos tradicionales y explica los fundamentos que caracterizan a un puerto verde. Posteriormente, estudia el desarrollo sostenible aplicado al transporte marítimo, la Agenda 2030, la economía azul, la economía circular y los principios ESG. También se revisan los beneficios económicos y ambientales que pueden alcanzarse mediante una gestión responsable, sin presentar la sostenibilidad como una solución automática, pues su implementación requiere inversión, planificación y cooperación entre autoridades, empresas y sociedad.

1.1 Evolución de los puertos tradicionales

En sus primeras etapas, los puertos tradicionales funcionaban principalmente como puntos de transferencia entre el transporte marítimo y el terrestre. Sus actividades se concentraban en la recepción y atraque de los buques, la carga y descarga de mercancías, el almacenamiento temporal y el cumplimiento de los controles aduaneros. En este modelo, cada servicio se realizaba de manera relativamente independiente y la preocupación principal era movilizar la carga dentro del recinto portuario. Con el crecimiento del comercio internacional, estas funciones comenzaron a resultar insuficientes.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 1992) explica que los puertos evolucionaron desde una función operativa básica hasta convertirse en centros comerciales y logísticos capaces de ofrecer servicios de mayor valor. Aunque este proceso no ocurrió de la misma manera en todos los países, permitió comprender que un puerto no debía limitarse a recibir embarcaciones, sino que también necesitaba integrarse con las actividades económicas de su entorno.

La expansión de la contenerización, el aumento del tamaño de los buques y la especialización de las terminales modificaron de forma considerable la actividad portuaria. En consecuencia, fue necesario construir patios para contenedores, instalar grúas de mayor capacidad y mejorar las conexiones con carreteras, ferrocarriles y centros de distribución. De igual forma, los sistemas digitales facilitaron el intercambio de información entre autoridades portuarias, operadores, transportistas, agentes navieros y aduanas. Según el Grupo Banco Mundial (2023), la contenerización y las tecnologías de información cambiaron los requerimientos de infraestructura, elevaron la productividad y permitieron una mayor integración de los puertos con las redes logísticas. De esta manera, el puerto tradicional pasó de ser un espacio dedicado casi

exclusivamente a la manipulación de mercancías a convertirse en un nodo que coordina distintos medios de transporte y servicios. Esta transformación también amplió su responsabilidad frente al ambiente, la seguridad y las comunidades cercanas.

Figura 1

Antiguo puerto con grúa y embarcaciones



Nota. Detalle de la pintura Antiguo Puerto de Montevideo por D. Laporte. Adaptado de "Puertos marítimos: cómo han cambiado", por Prosertek, 2017 (<https://prosertek.com/es/blog/puertos-maritimos-cambiado/>).

1.2 Concepto de puerto verde

Desde una perspectiva institucional, la Comisión Interamericana de Puertos (2025) define un puerto verde como aquel que desarrolla sus actividades considerando conjuntamente el desempeño económico y el ambiental, identifica los impactos que produce y a su vez aplica medidas para mitigarlos y controlarlos. En este contexto es importante mencionar que la guía añade que este compromiso debe superar el simple cumplimiento de la legislación y sostenerse mediante

un sistema de gestión ambiental, la revisión permanente de la cadena de valor, objetivos medibles y procesos de mejora continua. Esta definición establece lo que una autoridad portuaria debe hacer para incorporar la protección ambiental en su administración.

En otras palabras, la condición de puerto verde no deriva de una obra aislada, como instalar paneles solares o electrificar una grúa, sino de integrar la variable ambiental en la planificación, el presupuesto, las responsabilidades, el seguimiento y la relación con las partes interesadas.

Ahora bien, desde la literatura científica, Fei et al. (2025) describen el puerto verde como un puerto cuyas actividades productivas y operativas buscan beneficios económicos y sociales mientras reducen el daño ambiental. Su revisión sistemática muestra que el concepto se evalúa a través de indicadores que están relacionados con las emisiones, el consumo de energía, la calidad del agua, los residuos, la eficiencia operativa y la dimensión social.

Sin embargo, los autores también identifican diferencias entre los métodos e indicadores empleados, lo que dificulta establecer un sistema universal de evaluación. Esta definición científica exige comprobar resultados y equilibrar las dimensiones ambiental, económica y social. Asimismo, permite diferenciar una iniciativa verde de un desempeño portuario sostenible, ya que una tecnología puede disminuir un impacto específico sin resolver otros problemas o incluso trasladarlos hacia otra etapa de la cadena logística.

Al contrastar las dos definiciones, se observa que la CIP aporta una ruta institucional de gestión, mientras que Fei et al. (2025) proporcionan criterios científicos para evaluar los resultados alcanzados. Ambos enfoques son complementarios: un puerto necesita políticas, responsables, recursos y mecanismos de control, pero también líneas base e indicadores que demuestren si sus decisiones reducen efectivamente la contaminación y mejoran su relación con la comunidad.

Por ello, un puerto verde puede definirse como un sistema portuario que incorpora de manera continua la prevención, mitigación y seguimiento de sus impactos ambientales, sin perder eficiencia logística y procurando generar beneficios económicos y sociales verificables. Para los puertos latinoamericanos, esta síntesis evita copiar soluciones externas sin un diagnóstico previo y orienta la transición hacia planes graduales, adaptados a las condiciones ambientales, financieras e institucionales de cada terminal.

Figura 2

Vista aérea de las instalaciones del Puerto de Vigo



Nota. Fotografía aérea que muestra el área portuaria con las Islas Cíes de fondo. Adaptado de "¿Qué es un Puerto Verde?", por Ángel, 2014, *Más Que Ingeniería* (<https://masqueingenieria.com/blog/que-es-un-puerto-verde/>).

1.3 Desarrollo sostenible aplicado al transporte marítimo

El desarrollo sostenible aplicado al transporte marítimo busca mantener los beneficios económicos y logísticos de esta actividad, mientras se reducen sus efectos negativos sobre el ambiente y la sociedad. Entre los impactos relacionados con el transporte marítimo se encuentran las emisiones atmosféricas, los derrames de hidrocarburos, la generación de residuos, el ruido submarino y la introducción de especies invasoras mediante las aguas de lastre (Guerrero & Álvarez, 2024).

En consecuencia, la sostenibilidad del sector debe analizarse desde las dimensiones económica, ambiental, social e institucional. Sánchez et al. (2015) sostienen que los países latinoamericanos necesitan una nueva gobernanza portuaria que permita relacionar el desempeño del transporte con el desarrollo sostenible. Esto implica reconocer que la competitividad no depende únicamente de movilizar más carga, sino también de hacerlo con mayor responsabilidad y eficiencia.

Para avanzar en esta transición se requieren medidas tanto en los buques como en las terminales portuarias. En las embarcaciones se puede mejorar la eficiencia energética, optimizar las rutas, reducir los tiempos de espera y desarrollar combustibles o tecnologías con emisiones bajas o cercanas a cero. En los puertos, por otra parte, es posible electrificar equipos, utilizar energías renovables, ofrecer suministro eléctrico desde tierra y mejorar la coordinación digital de las operaciones.

La Organización Marítima Internacional (2023) estableció como propósito alcanzar emisiones netas de gases de efecto invernadero cercanas a cero para 2050 o alrededor de esa fecha. Asimismo, planteó que la adopción de tecnologías, combustibles y fuentes de energía con emisiones de gases de efecto invernadero nulas o casi nulas represente al menos el 5 %, procurando

alcanzar el 10 %, de la energía utilizada por el transporte marítimo internacional para 2030. A pesar de ello, la transición debe considerar la seguridad, los costos, la infraestructura disponible y las condiciones de los países en desarrollo.

Al contrastar estos planteamientos, se observa que la descarbonización del transporte marítimo no depende únicamente del desarrollo de nuevas tecnologías. Mientras la OMI (2023) establece metas internacionales orientadas a reducir progresivamente las emisiones del sector, Sánchez et al. (2015) destacan la necesidad de fortalecer la gobernanza y la coordinación institucional, especialmente en América Latina. En este sentido, las metas globales pueden marcar una dirección común, pero su cumplimiento depende de las capacidades económicas, regulatorias y tecnológicas existentes en cada país. Para los puertos latinoamericanos, esto significa que la transición debe avanzar de manera gradual, priorizando aquellas medidas que puedan mantenerse técnica y financieramente en el tiempo.

1.4 Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 fue aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015 y reúne 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible orientados a integrar el crecimiento económico, la inclusión social y la protección ambiental. Aunque no existe un objetivo dedicado exclusivamente a los puertos, su actividad mantiene relación directa con varias de estas metas.

El ODS 9 promueve infraestructuras resilientes e innovación; el ODS 12 plantea el uso responsable de los recursos; el ODS 13 aborda la acción climática; y el ODS 14 se concentra en la conservación de los océanos. También son relevantes el ODS 8, relacionado con el trabajo decente, y el ODS 17, que impulsa la cooperación entre instituciones. Por esta razón, la Agenda 2030 funciona como una guía para evaluar si el desarrollo portuario produce resultados económicos sin trasladar sus costos ambientales y sociales a las comunidades costeras (Naciones Unidas, 2015).

La aplicación de estos objetivos puede observarse en decisiones concretas. Por ejemplo, la electrificación de equipos y el uso de energías renovables se relacionan con los ODS 7 y 13; la reducción, clasificación y aprovechamiento de residuos contribuyen al ODS 12; mientras que el tratamiento de aguas y la prevención de derrames apoyan el ODS 14. De igual forma, la seguridad laboral y la capacitación del personal responden al ODS 8. El Banco Mundial señala que los principales desafíos ambientales de los puertos incluyen el cambio climático, la contaminación del aire y del agua, los residuos, el ruido, el uso del suelo y la afectación de la biodiversidad (Grupo Banco Mundial, 2025). En consecuencia, vincular las operaciones con los ODS permite ordenar las prioridades y evita que la sostenibilidad quede limitada a declaraciones generales.

Sin embargo, mencionar los ODS en los planes institucionales no demuestra por sí solo que un puerto sea sostenible. Es necesario convertirlos en metas verificables, como reducir el consumo energético, disminuir las emisiones, controlar los residuos generados o mejorar la participación de las comunidades cercanas. Para ello se requiere establecer indicadores, responsables y plazos de cumplimiento. También debe reconocerse que las posibilidades de aplicación cambian según el tamaño, la ubicación y los recursos de cada terminal. Un puerto ecuatoriano no puede copiar de manera automática las estrategias de una instalación europea con mayor capacidad financiera. Lo adecuado sería adaptar los objetivos internacionales a las necesidades nacionales y evaluar los avances con información transparente. Así, la Agenda 2030 se convierte en una herramienta de planificación y seguimiento, en lugar de funcionar únicamente como una lista de buenas intenciones.

Desde esta perspectiva, existe una diferencia entre vincular discursivamente las actividades portuarias con los ODS y utilizarlos como una herramienta real de gestión. La Agenda 2030 proporciona objetivos generales, mientras que la gestión portuaria necesita traducirlos en variables

que puedan medirse, como consumo energético, emisiones, generación de residuos, accidentabilidad laboral o participación comunitaria.

Figura 3

Rueda con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas



Nota. de *Objetivos de Desarrollo Sostenible en la industria 2030*, por V. Borrás García, 2025, Knauf Industries.

Por lo tanto, el aporte de un puerto a los ODS no debería evaluarse por la cantidad de objetivos que aparecen mencionados en sus documentos institucionales, sino por los resultados obtenidos y la posibilidad de verificarlos mediante información periódica. Esta consideración adquiere especial importancia en América Latina, donde las diferencias de infraestructura,

financiamiento y capacidad institucional obligan a establecer prioridades de acuerdo con las condiciones de cada puerto.

1.5 Economía azul

El Banco Mundial y el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2017) definen la economía azul como el uso sostenible de los recursos oceánicos para promover el crecimiento económico, mejorar los medios de vida y generar empleo, conservando la salud de los ecosistemas marinos. Su énfasis se encuentra en transformar el potencial del océano en beneficios económicos y sociales de largo plazo. Desde esta perspectiva, se puede sostener que el mar constituye un activo natural capaz de sostener actividades como la pesca, el transporte marítimo, el turismo, la acuicultura y la producción de energía. Sin embargo, su aprovechamiento requiere planificación, conocimiento científico, instituciones eficaces y participación de los actores involucrados. Por consiguiente, el enfoque del Banco Mundial no defiende una expansión productiva sin restricciones, sino un crecimiento que conserve la base natural de la cual dependen las actividades económicas y las comunidades costeras.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2026) parte de una prioridad diferente. Su perspectiva sitúa la integridad de los ecosistemas como condición previa para el funcionamiento de la economía azul y sostiene que las actividades dependientes del océano no deben dañarlo. En lugar de medir el éxito principalmente por el crecimiento de los sectores o de los ingresos, el PNUMA propone actuar dentro de los límites ecológicos de los océanos, las costas y las aguas continentales.

Esto supone proteger y restaurar ecosistemas productivos y resilientes, utilizar tecnologías limpias, incorporar energías renovables y promover flujos circulares de materiales. Esta visión responde a la crisis climática, la contaminación y la pérdida de biodiversidad, y advierte que la

degradación del capital natural también produce riesgos físicos, regulatorios, financieros y reputacionales para las actividades económicas que dependen de los ecosistemas marinos.

La comparación muestra una diferencia en el punto de partida, pero no una oposición. El Banco Mundial y las Naciones Unidas (2017) se concentran en la manera de aprovechar sosteniblemente los recursos oceánicos para producir empleo, ingresos y bienestar duradero. El PNUMA (2026), por su parte, prioriza las condiciones ecológicas que deben respetarse para que ese aprovechamiento pueda mantenerse. En el primer enfoque predomina la organización del desarrollo económico basado en el océano; en el segundo, la protección y regeneración de los sistemas naturales que hacen posible dicho desarrollo. En este contexto, ambas perspectivas permiten comprender que no toda actividad realizada en el mar forma parte de la economía azul. Para ser considerada como tal, debe demostrar simultáneamente viabilidad económica, beneficios sociales y conservación ambiental, evitando que el crecimiento presente disminuya las oportunidades de las generaciones futuras.

En el ámbito portuario, esta integración exige evaluar algo más que el movimiento de carga o las inversiones recibidas. Un puerto puede contribuir a la economía azul al facilitar cadenas pesqueras y turísticas responsables, combustibles de menores emisiones, energías renovables y servicios para la recepción y valorización de residuos. Sin embargo, esta contribución pierde consistencia si la expansión de la terminal deteriora la calidad del agua, afecta los hábitats costeros, incrementa las emisiones o reduce los beneficios sociales esperados, ya que estas consecuencias contradicen los principios de aprovechamiento sostenible y conservación planteados por la economía azul (Banco Mundial & Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, 2017; PNUMA, 2026). En Ecuador, donde el transporte marítimo, la pesca, el turismo y la biodiversidad comparten el espacio costero, el aporte de los puertos debería evaluarse

mediante indicadores económicos, como empleo, productividad e inversión; ambientales, como calidad del agua, emisiones y estado de los ecosistemas; y sociales, como participación comunitaria y distribución de los beneficios.

1.6 Economía circular en los puertos

La economía circular busca conservar el valor de los productos y materiales durante el mayor tiempo posible mediante la prevención, la reutilización, la reparación, la remanufactura y el reciclaje. De Miguel et al. (2021), en un informe publicado por la CEPAL, sostienen que la transición regional no puede limitarse al tratamiento final de los residuos. Esta requiere marcos legales e institucionales adecuados, inversión en infraestructura, financiamiento, innovación tecnológica y organizacional, trazabilidad de los flujos e interacción entre los participantes de la cadena de valor. Los autores también proponen políticas de desarrollo productivo que faciliten que los residuos o subproductos de una empresa se conviertan en recursos para otra. En los puertos, esta propuesta comprende los residuos generados por las terminales y los buques, pero también el agua tratada, el calor residual, los equipos, los materiales de mantenimiento y los subproductos de las industrias ubicadas en su entorno.

Barona et al. (2023) examinaron la aplicación de la economía circular en puertos marítimos industriales europeos mediante una revisión semisistemática y un análisis estratégico. Los autores identificaron tres ámbitos principales de intervención: prolongar la vida útil de los activos y equipos portuarios; recuperar, reutilizar o valorizar los flujos de materiales generados dentro del puerto; y conectar la oferta y la demanda de recursos para formar mercados circulares y relaciones de simbiosis industrial. Aunque los puertos estudiados cuentan con concentración de empresas, infraestructura compartida y experiencia en gestión ambiental, la aplicación observada fue calificada como moderada o baja. Entre las principales barreras se encuentran las elevadas

inversiones iniciales, la falta de infraestructura y políticas armonizadas, el escaso conocimiento o interés de algunos actores y las dificultades para establecer y medir objetivos comunes.

Los resultados de Barona et al. (2023) respaldan y concretan las propuestas formuladas por la CEPAL. La ausencia de políticas armonizadas confirma la importancia del marco regulatorio; los costos iniciales y la escasez de instalaciones justifican la necesidad de inversión y financiamiento; los mecanismos de medición responden a la demanda de trazabilidad; y las alianzas entre autoridades portuarias, terminales e industrias permiten que los subproductos encuentren usuarios reales. Esta relación demuestra que la proximidad física entre empresas no produce circularidad por sí sola. La simbiosis industrial necesita información confiable sobre la cantidad, calidad y periodicidad de los flujos, además de acuerdos comerciales, responsabilidades definidas y controles ambientales. En consecuencia, la economía circular debe incorporarse en la planificación y el modelo de negocio del puerto, en lugar de presentarse únicamente como una actividad secundaria de reciclaje.

En Ecuador, el Pacto Nacional por la Economía Circular, firmado en agosto de 2019, constituye un antecedente importante para la transición del país hacia un modelo económico circular. Posteriormente, el *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador* organizó esta transición alrededor de ejes relacionados con política y financiamiento, producción sostenible, consumo responsable y gestión integral de residuos (MPCEIP & GIZ, 2021). Sin embargo, en el ámbito portuario estos lineamientos necesitan traducirse en proyectos verificables. Cada puerto debería inventariar sus flujos de materiales, residuos, agua y energía; identificar posibles intercambios entre terminales, industrias, municipios y gestores autorizados; evaluar su viabilidad técnica, económica, jurídica y ambiental; y establecer contratos, mecanismos de trazabilidad e indicadores de desempeño. Entre estos indicadores podrían considerarse la reducción del consumo

de materias primas vírgenes, la proporción de residuos valorizados, la extensión de la vida útil de los equipos y las emisiones evitadas.

Figura 4

Representación conceptual de la economía circular en la logística y gestión de almacenes



Nota. Gráfico con el símbolo de infinito e íconos de sostenibilidad sobre la fotografía de un almacén automatizado. Adaptado de "Economía circular: definición, principios y beneficios para la sostenibilidad empresarial", por Mecalux, 2025 (<https://www.mecalux.com.mx/blog/economia-circular>).

1.7 Principios ESG: ambientales, sociales y de gobernanza

Los principios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) proporcionan un marco para integrar la sostenibilidad en la estrategia, la gestión de riesgos y la toma de decisiones de una organización. Su formulación moderna se consolidó con el informe *Who Cares Wins*, elaborado por instituciones financieras bajo la iniciativa del Pacto Mundial de las Naciones Unidas. Este documento sostuvo que los factores ambientales, sociales y de gobierno corporativo podían influir en el desempeño, la reputación y la creación de valor a largo plazo, por lo que debían incorporarse en el análisis empresarial y financiero (Pacto Mundial de las Naciones Unidas, 2004). Desde esta perspectiva, la utilidad teórica de ESG consiste en ampliar la evaluación tradicional de una organización: además de sus resultados económicos, examina cómo administra sus impactos ambientales, cómo se relaciona con trabajadores y comunidades, y qué mecanismos utiliza para asegurar transparencia, responsabilidad y cumplimiento normativo.

En el ámbito portuario, la dimensión ambiental comprende asuntos como las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, el consumo de energía y agua, el ruido, los derrames, la generación de residuos y la afectación de los ecosistemas. La dimensión social incluye la seguridad y salud de los trabajadores, la calidad del empleo, la igualdad de oportunidades, la capacitación y las relaciones entre el puerto y las comunidades cercanas.

Por su parte, la gobernanza abarca la estructura de dirección, el cumplimiento legal, la prevención de la corrupción, la transparencia de la información, la participación de los grupos de interés y la asignación de responsabilidades. La principal aportación del enfoque ESG es reunir estos componentes dentro de un sistema común de planificación y evaluación. Por consiguiente, permite identificar riesgos que podrían quedar fuera de un análisis estrictamente financiero y relacionar las actuaciones ambientales con sus consecuencias sociales y económicas.

Sin embargo, la aplicación empírica presenta dificultades que reducen la comparabilidad y confiabilidad de los resultados. Gu et al. (2023) analizaron 18 empresas portuarias cotizadas vinculadas con los principales puertos chinos y encontraron que 15 habían publicado algún tipo de informe ESG, de responsabilidad social o de sostenibilidad. Aunque esta cifra evidencia una creciente adopción del enfoque, los informes utilizaban denominaciones, estándares y niveles de detalle diferentes. Además, varias empresas no identificaban claramente el marco empleado para elaborar sus reportes. En el caso del puerto de Shanghái, seleccionado por disponer de la información más completa, los investigadores tuvieron que combinar reportes ESG, informes anuales y anuarios estadísticos. También recurrieron a estimaciones para completar algunos años y asignaron un valor de cero a cuatro indicadores totalmente ausentes: tratamiento de aguas residuales, reciclaje de residuos, disposición de residuos peligrosos y evaluación de proveedores (Gu et al., 2023).

Los resultados de Gu et al. (2023) demuestran que la existencia de un informe ESG no constituye, por sí sola, evidencia de un desempeño sostenible. El estudio encontró que la información ambiental cuantitativa era menos abundante que la social y la relacionada con la gobernanza. También observó que el desempeño ambiental del puerto de Shanghái había mejorado de manera limitada y seguía rezagado respecto de las otras dimensiones. Asimismo, la implementación de energía eléctrica en muelle requería inversiones elevadas, adaptación de los buques, coordinación entre diferentes sectores y una matriz eléctrica con mayor participación de fuentes limpias.

En el componente social, la automatización mejoraba la productividad, pero coincidía con una reducción de las oportunidades de empleo. En pocas palabras, la teoría ESG es sumamente útil para organizar objetivos y responsabilidades, pero su efectividad depende de estándares

portuarios específicos, datos completos, indicadores comparables, verificación independiente y seguimiento continuo. En este sentido, el contraste evidencia la diferencia entre declarar compromisos de sostenibilidad y demostrar resultados verificables (Gu et al., 2023).

1.8 Beneficios económicos y ambientales de un puerto verde

La transformación hacia un puerto verde puede generar beneficios ambientales mediante la reducción de emisiones de CO₂, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado. También puede disminuir el ruido, el consumo de combustibles fósiles, los vertidos contaminantes y la cantidad de residuos destinados a disposición final. En el ámbito económico, la eficiencia energética y operativa puede reducir los costos asociados con el consumo de electricidad, combustibles, mantenimiento y tiempos de espera.

A estos efectos se suman una menor exposición a sanciones ambientales, una mejor relación con las comunidades, el fortalecimiento de la reputación institucional y una mayor capacidad para atraer cargas, inversiones o financiamiento vinculado con criterios de sostenibilidad. Sin embargo, estos resultados son potenciales y no automáticos. La revisión de Fei et al. (2025) muestra que el desempeño de un puerto verde debe evaluarse combinando variables ambientales, económicas y operativas, debido a que una mejora aislada no necesariamente representa un avance integral.

La obtención de estos beneficios depende, en primer lugar, de una inversión suficiente y correctamente planificada. La electrificación de equipos, el suministro eléctrico a los buques, la generación de energía renovable, el tratamiento de aguas, la infraestructura para combustibles alternativos y los sistemas de monitoreo requieren capital inicial, costos de operación y mantenimiento, capacidad técnica y coordinación con empresas privadas.

El beneficio económico debe analizarse durante todo el ciclo de vida de cada proyecto, considerando la inversión inicial, los costos evitados, el ahorro de energía, la vida útil de los equipos y los riesgos tecnológicos. La experiencia portuaria también demuestra que una infraestructura puede quedar subutilizada cuando los buques no disponen de conexiones compatibles, la electricidad resulta demasiado costosa o la red no cuenta con suficiente capacidad. Por esta razón, la ESPO recomienda que cada autoridad portuaria elabore una hoja de ruta ajustada a sus competencias, condiciones operativas y prioridades ambientales (ESPO, 2021).

En segundo lugar, los beneficios dependen del seguimiento posterior a la inversión. Antes de ejecutar una intervención debe establecerse una línea base que permita conocer el consumo energético, las emisiones, los costos operativos y las condiciones ambientales iniciales. Posteriormente, los resultados pueden evaluarse mediante indicadores ambientales, económicos, operativos y sociales. Fei et al. (2025) identifican entre las variables utilizadas en la evaluación de puertos verdes aquellas relacionadas con emisiones, consumo energético, uso de energías limpias, agua, residuos, eficiencia, costos, productividad y aspectos sociales. La selección final de indicadores debe responder a las características de cada puerto y al tipo de intervención evaluada. Además, conviene combinar valores absolutos con indicadores de intensidad, debido a que un aumento del movimiento de carga puede incrementar las emisiones totales, aunque exista una mejora en la eficiencia.

Conviene utilizar tanto valores absolutos como indicadores de intensidad, puesto que un aumento del movimiento de carga puede elevar las emisiones totales, aunque exista una mejora en la eficiencia. Sin medición periódica, metas temporales y datos verificables, no sería posible determinar si los beneficios anunciados provienen realmente de la intervención realizada.

Por tanto, la relación entre sostenibilidad ambiental y beneficio económico debe entenderse como un proceso condicionado por tres elementos: inversión, seguimiento e indicadores. La inversión permite ejecutar las soluciones; el seguimiento identifica desviaciones y necesidades de corrección; y los indicadores demuestran si las medidas producen resultados. Un puerto no se convierte en verde únicamente por adquirir equipos eléctricos o publicar compromisos de reducción. Debe comprobar que esas inversiones disminuyen los impactos ambientales sin comprometer la seguridad, la continuidad operativa y la viabilidad financiera (Comisión Interamericana de Puertos, 2025). Esta evaluación también debe considerar efectos indirectos, como el origen de la electricidad, la generación de residuos tecnológicos, la transformación del empleo y el desplazamiento de emisiones hacia otras etapas de la cadena logística.

1.9 Casos de estudio

Los casos de Rotterdam y Hamburgo permiten observar dos modelos de transición portuaria desarrollados dentro del contexto europeo. Ambos puertos han incorporado electrificación, energías alternativas, digitalización y mecanismos de cooperación con empresas; sin embargo, sus prioridades responden a condiciones territoriales y económicas diferentes. Rotterdam funciona como un gran complejo portuario-industrial y energético, mientras que Hamburgo se encuentra estrechamente integrado con una zona urbana.

La comparación no busca establecer cuál de los dos es completamente “verde”, sino identificar las estrategias aplicadas, los avances alcanzados y las limitaciones que todavía condicionan su transformación. Esta distinción es importante porque las actuaciones portuarias deben evaluarse de acuerdo con el tipo de carga, la actividad industrial, la relación puerto-ciudad, la capacidad de inversión y la disponibilidad de energía e infraestructura.

1.9.1 Puerto de Rotterdam

El puerto de Rotterdam ha orientado su estrategia hacia la transformación simultánea de las actividades portuarias, industriales y energéticas. Su enfoque incluye la eficiencia de la industria existente, el cambio hacia nuevos sistemas energéticos y de materias primas, la producción y utilización de hidrógeno, los biocombustibles, el reciclaje y la construcción de infraestructura para transportar calor, hidrógeno y CO₂. Esta estrategia refleja que la transición ambiental no se limita a reducir las emisiones directas de la autoridad portuaria, sino que intenta modificar el funcionamiento del complejo industrial situado dentro del puerto. Al mismo tiempo, Rotterdam vincula la sostenibilidad con la conservación de su competitividad, la atracción de nuevas empresas y la permanencia de las actividades económicas en un escenario de descarbonización (Port of Rotterdam, 2026).

Una actuación representativa es la expansión del suministro eléctrico desde tierra. Cuando un buque utiliza esta infraestructura puede apagar sus generadores auxiliares durante su permanencia en el muelle, lo que reduce las emisiones atmosféricas y el ruido. En noviembre de 2025, la autoridad portuaria informó que Rotterdam contaba con más de cien instalaciones de suministro eléctrico, con una capacidad conjunta superior a 43 MW. La estrategia actualizada para 2025-2035 busca ampliar estas instalaciones y preparar al puerto para las obligaciones europeas previstas para 2030. Su ejecución combina inversiones de la autoridad portuaria, participación empresarial, subsidios para estudios de factibilidad y cooperación con operadores de terminales y compañías energéticas (Port of Rotterdam Authority, 2026).

El caso también muestra limitaciones relevantes. La congestión de la red eléctrica en determinadas zonas dificulta la conexión de nuevas instalaciones, mientras que la ampliación del suministro exige obras civiles, capacidad de generación y acuerdos con terminales y navieras.

Además, algunos proyectos relacionados con hidrógeno, captura de carbono y combustibles alternativos dependen de mercados que todavía se encuentran en desarrollo. En consecuencia, Rotterdam llegó a representar una transición sistémica y de gran escala, pero no un proceso concluido. Su principal enseñanza radica en que la autoridad portuaria puede actuar como coordinadora de infraestructura, empresas, financiamiento e innovación. No obstante, los resultados ambientales dependen de que los proyectos sean utilizados, que la energía suministrada tenga una baja huella de carbono y que las reducciones sean medidas de manera constante.

Figura 5

Vista aérea del complejo portuario de Rotterdam y sus terminales de contenedores



Nota. Fotografía panorámica que muestra la infraestructura del puerto de Rotterdam. Adaptado de "Puerto de Rotterdam", por Kokargo, s.f. (<https://kokargo.com/blog/puerto-de-rotterdam/>).

1.9.2 Puerto de Hamburgo

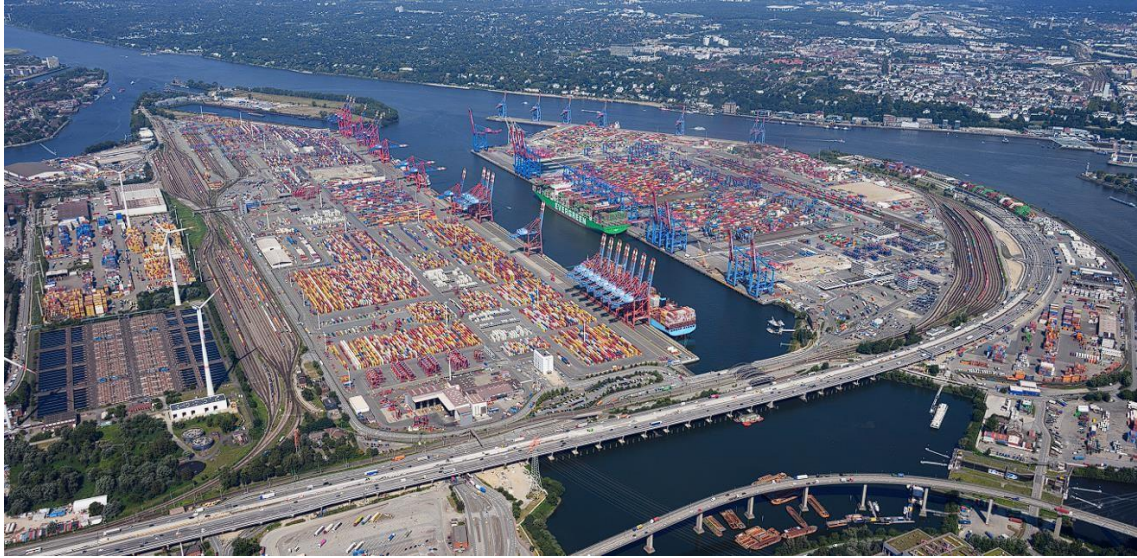
El puerto de Hamburgo ha prestado especial atención a los impactos que las operaciones portuarias generan sobre la calidad del aire y el entorno urbano. Una de sus principales medidas es el suministro eléctrico a los buques desde tierra. La primera instalación de shore power fue

puesta en marcha en 2016 en la terminal de cruceros de Altona y posteriormente la infraestructura se amplió hacia cruceros, buques portacontenedores, embarcaciones interiores y unidades de servicio portuario. La Hamburg Port Authority (s. f.-a) señala que la electricidad suministrada procede de fuentes renovables y que la estrategia busca extender esta infraestructura a los principales atraques del puerto como parte de su proceso de descarbonización. El objetivo general planteado por la autoridad es avanzar hacia operaciones portuarias climáticamente neutras para 2040.

Esta estrategia se complementa con el programa *smartPORT*, mediante el cual se integran datos sobre el tránsito marítimo, ferroviario y vial para mejorar la coordinación de los flujos logísticos. La gestión inteligente del tráfico puede reducir recorridos innecesarios, congestión, tiempos de espera, consumo energético y costos operativos. En materia energética, Hamburgo también impulsa eficiencia, movilidad eléctrica, generación renovable e infraestructura para combustibles alternativos. La iniciativa *Sustainable Energy Hub Hamburg*, iniciada en 2023, busca coordinar a las empresas instaladas en el puerto, identificar necesidades comunes de infraestructura y promover actividades relacionadas con hidrógeno, metanol y otras fuentes energéticas sostenibles (Hamburg Port Authority, 2023).

Figura 6

Vista aérea del Puerto de Hamburgo



Nota.

Tomado de *Aerial image of the Eurogate and Burchardkai container terminals (view from the southeast)* [Fotografía], por C. Steger, 2024, Wikimedia Commons. CC BY-SA 4.0.

Tabla 1

Comparación de las estrategias sostenibles de los puertos de Rotterdam y Hamburgo

Puerto	Problema identificado	Estrategia aplicada	Indicador	Resultado observado	Lección para Latinoamérica

Rotterdam	Emisiones procedentes de los buques y de las actividades del complejo portuario-industrial, junto con una elevada demanda energética.	Shore power, transición hacia nuevos sistemas energéticos, hidrógeno, combustibles alternativos, circularidad y coordinación entre autoridad portuaria, empresas y sector energético.	Número de instalaciones de shore power, capacidad instalada, utilización de la infraestructura y evolución de emisiones.	En noviembre de 2025, el puerto disponía de más de 100 instalaciones de shore power con una capacidad conjunta superior a 43 MW. La expansión continúa, aunque algunas zonas enfrentan limitaciones por congestión de la red eléctrica.	La inversión tecnológica debe acompañarse de capacidad eléctrica, coordinación institucional, participación empresarial e indicadores que permitan comprobar sus resultados.
Hamburgo	Emisiones atmosféricas y ruido producidos por los buques, especialmente relevantes por la estrecha relación entre el puerto y la ciudad.	Shore power con electricidad renovable, ampliación de infraestructura para cruceros y portacontenedores, digitalización mediante smartPORT y transición hacia energías alternativas.	Número de sistemas de conexión, terminales equipadas, capacidad de suministro, utilización de electricidad renovable y reducción de emisiones durante la permanencia en muelle.	La HPA registra infraestructura para portacontenedores en cuatro terminales , con 10 sistemas de conexión en total : uno en CTT y tres en cada una de CTB, CTH y CTA. Estos sistemas pueden	Las estrategias deben responder a la relación puerto-ciudad y a los impactos prioritarios de cada terminal; no resulta conveniente reproducir infraestructura europea sin comprobar demanda,

				suministrar hasta 7,5 MVA por buque. Además, existen instalaciones para cruceros y el suministro procede de fuentes renovables.	capacidad eléctrica y viabilidad financiera.
--	--	--	--	---	--

Nota. Elaboración propia con base en Port of Rotterdam Authority (2021, 2025) y Hamburg Port Authority (2023, s. f.-a, s. f.-b).

Como se observa en la Tabla 1, Rotterdam y Hamburgo comparten varios componentes dentro de sus procesos de transición sostenible, entre ellos la planificación a largo plazo, la electrificación portuaria, la cooperación público-privada, la incorporación de energías alternativas, la digitalización y la coordinación con navieras y terminales. Sin embargo, la diferencia principal se encuentra en el énfasis de cada modelo. Rotterdam concentra una parte importante de sus esfuerzos en transformar un complejo industrial y energético de gran escala mediante hidrógeno, circularidad e infraestructura destinada a diferentes flujos energéticos. Por su parte, Hamburgo, debido a su estrecha relación con la ciudad, otorga mayor atención a la electrificación de los muelles, la calidad del aire, la reducción del ruido y la coordinación inteligente del tráfico.

En ambos casos, los proyectos requieren financiamiento, compatibilidad tecnológica, suficiente capacidad de la red eléctrica, cooperación empresarial y seguimiento mediante

indicadores. Esto demuestra que la transición hacia un puerto verde no depende exclusivamente de incorporar nuevas tecnologías, sino también de las condiciones institucionales, territoriales y energéticas que permiten utilizarlas de manera efectiva. De esta forma, las experiencias de Rotterdam y Hamburgo evidencian que no existe un modelo único de puerto verde, ya que las estrategias deben responder a los problemas específicos, las capacidades disponibles y las características de cada entorno portuario.

Para América Latina, la principal enseñanza de estos casos no consiste en reproducir de manera íntegra las tecnologías implementadas en los puertos europeos, sino en adaptar sus principios a las condiciones económicas, institucionales, tecnológicas y ambientales de cada sistema portuario. Una transición regional podría comenzar con la elaboración de una línea base que permita identificar las principales fuentes de emisiones, los consumos energéticos, la generación de residuos, los problemas de contaminación y los actores responsables de cada actividad.

A partir de este diagnóstico, cada puerto podría priorizar las intervenciones de acuerdo con su impacto esperado, costo y factibilidad técnica. Entre las alternativas se encuentran la eficiencia energética, la reducción de los tiempos de espera de los buques, la digitalización de trámites y operaciones, una mejor gestión de residuos, la electrificación progresiva de equipos portuarios y, cuando la capacidad de la red eléctrica y la demanda lo permitan, la implementación de sistemas de suministro eléctrico desde tierra. De esta manera, la experiencia internacional funcionaría como una referencia para orientar decisiones, pero no como un modelo que deba copiarse sin considerar las características propias de cada puerto latinoamericano.

En este sentido, el *Manual de puertos inteligentes* del Banco Interamericano de Desarrollo plantea la necesidad de construir una estrategia y una hoja de ruta acompañadas de indicadores

cuantitativos y cualitativos que permitan evaluar los avances alcanzados (Fundación Valenciaport, 2020). Para los puertos latinoamericanos, este proceso debería incorporarse también en los contratos de concesión, los mecanismos de financiamiento y las obligaciones relacionadas con la generación y entrega de información. De esta manera, la transición hacia puertos verdes podría desarrollarse mediante objetivos progresivos y verificables, en lugar de depender únicamente de proyectos aislados o compromisos institucionales generales.

Referencias

- Ángel. (2014, 1 de diciembre). *¿Qué es un puerto verde?* Más Que Ingeniería.
<https://masqueingenieria.com/blog/que-es-un-puerto-verde/>
- Banco Mundial, & Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. (2017). *The potential of the blue economy: Increasing long-term benefits of the sustainable use of marine resources for small island developing states and coastal least developed countries*. Banco Mundial.
<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a36b153d-0284-58b0-b7b3-35a26438f31b>

- Barona, J., Ballini, F., & Canepa, M. (2023). Circular developments of maritime industrial ports in Europe: A semi-systematic review of the current situation. *Journal of Shipping and Trade*, 8, Article 25. <https://doi.org/10.1186/s41072-023-00153-w>
- Borrás García, V. (2025, 11 de noviembre). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Retos de la industria para 2030*. Knauf Industries. <https://knauf-industries.es/objetivos-desarrollo-sostenible-industria-2030/>
- Comisión Interamericana de Puertos. (2025). *Guía para la certificación ambiental y para la elaboración de reportes de sostenibilidad para puertos de las Américas*. Organización de los Estados Americanos. <https://portalcip.org/guide-for-environmental-certification-and-for-the-preparation-of-sustainability-reports-for-ports-of-the-americas/?lang=es>
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. (1992). *Port marketing and the challenge of the third generation port* (TD/B/C.4/AC.7/14). Naciones Unidas. <https://digitallibrary.un.org/record/138429?ln=es>
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. (2024). *Review of maritime transport 2024: Navigating maritime chokepoints*. Naciones Unidas. <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024>
- De Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M. (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe: Oportunidad para una recuperación transformadora* (LC/TS.2021/120). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5fceda72-3fed-4ace-bb87-5688547cf2f5/content>

- European Sea Ports Organisation. (2021). *ESPO Green Guide 2021: A manual for European ports towards a green future*. <https://www.espo.be/publications/espo-green-guide-2021-a-manual-for-european-ports->
- Fei, H., Shi, H., & Pan, X. (2025). A systematic review of green port evaluation: Methods, subjects, and indicators. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(3), 604. <https://doi.org/10.3390/jmse13030604>
- Fundación Valenciaport. (2020). *Manual de puertos inteligentes: Estrategia y hoja de ruta*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0002384>
- Grupo Banco Mundial. (2023, 18 de mayo). *Los puertos de contenedores de todo el mundo continúan recuperándose de las interrupciones de la época de la pandemia, pero aún se pueden lograr mejoras en la eficiencia* [Comunicado de prensa]. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2023/05/18/global-container-ports-continue-to-recover-from-pandemic-era-disruptions-yet-more-scope-for-efficiency-gains-remain>
- Grupo Banco Mundial. (2025). *Port reform toolkit: Module 8—Environmental sustainability*. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099073025114570099>
- Gu, X., Zhu, Y., & Zhang, J. (2023). Toward sustainable port development: An empirical analysis of China's port industry using an ESG framework. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10, Article 944. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02474-4>

- Guerrero Molina, M. I., & Álvarez Patiño, J. V. (2024). El transporte marítimo y su impacto en la sostenibilidad: Revisión de la bibliografía. *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, 19(1), 47–66. <https://doi.org/10.18359/ries.6764>
- Hamburg Port Authority. (2023, 9 de octubre). *Port of Hamburg kick-starts the Sustainable Energy Hub Initiative*. <https://www.hamburg-port-authority.de/en/seh>
- Hamburg Port Authority. (s. f.-a). *Shore power*. Recuperado el 27 de agosto de 2026, de <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/shorepower>
- Hamburg Port Authority. (s. f.-b). *smartPORT: The intelligent port*. Recuperado el 27 de agosto de 2026, de <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport>
- Kokargo. (s. f.). *Puerto de Rotterdam*. Recuperado el 27 de agosto de 2026, de <https://kokargo.com/puerto-de-rotterdam/>
- Mecalux. (2025, 8 de septiembre). *Economía circular: Definición, principios y beneficios para la sostenibilidad empresarial*. <https://www.mecalux.com.mx/blog/economia-circular>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2021). *Libro blanco de economía circular de Ecuador*. https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (A/RES/70/1). <https://sdgs.un.org/es/2030agenda>
- Organización Marítima Internacional. (2023). *Estrategia de la OMI de 2023 sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques* (Resolución MEPC.377[80]).

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.377%2880%29.pdf>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (2004). *Who cares wins: Connecting financial markets to a changing world.*

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/280911488968799581/pdf/113237-WP-WhoCaresWins-2004.pdf>

Port of Rotterdam Authority. (2021, 11 de mayo). *Sustainable port.*

<https://www.portofrotterdam.com/en/building-port/sustainable-port>

Port of Rotterdam Authority. (2025, 12 de noviembre). *City of Rotterdam and Port of Rotterdam Authority present updated Shore Power Strategy 2025–2035.*

<https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/city-rotterdam-and-port-rotterdam-authority-present-updated-shore-power>

Prosertek. (2017, 19 de enero). *Puertos marítimos: Cómo han cambiado.*

<https://prosertek.com/es/blog/puertos-maritimos-cambiado/>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2026, 25 de febrero). *Sustainable blue economy.*

<https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/ecosystem-based-approaches/sustainable-blue-economy>

Sánchez, R. J., Jaimurzina, A., Wilmsmeier, G., Pérez Salas, G., Doerr, O., & Pinto, F. (2015).

Transporte marítimo y puertos: Desafíos y oportunidades en busca de un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe (Serie Recursos Naturales e Infraestructura N.º

176). Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5b673d5d-0b52-4e67-80c1-8bdef7233ad4/content>

Steger, C. (2024, 13 de agosto). *Aerial image of the Eurogate and Burchardkai container terminals (view from the southeast)* [Fotografía]. Wikimedia Commons.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aerial_image_of_the_Eurogate_and_Burchardkai_container_terminals_\(view_from_the_southeast\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aerial_image_of_the_Eurogate_and_Burchardkai_container_terminals_(view_from_the_southeast).jpg)

CAPITULO 2

Problemática ambiental de los puertos latinoamericanos

Alvear Caguana Danny

Pacheco Muñiz Gabriela

Muñoz Mayea Ronald

Resumen

El presente capítulo analiza los principales problemas ambientales originados por las operaciones portuarias en América Latina y las medidas aplicadas para prevenirlos o reducirlos. Mediante la revisión de normas internacionales, guías técnicas, fuentes institucionales y experiencias regionales, se examinan la contaminación atmosférica, las emisiones de dióxido de carbono, el ruido, los derrames de hidrocarburos, los residuos peligrosos y los desechos regulados por MARPOL. También se estudian el manejo del agua de lastre, la contaminación del suelo, la calidad del agua y la vulnerabilidad de la infraestructura portuaria frente al cambio climático.

El análisis muestra que estos impactos no aparecen de forma aislada. Una fuga, por ejemplo, puede afectar al mismo tiempo el suelo, el drenaje, el agua y los ecosistemas costeros. Por ello, la gestión ambiental requiere combinar monitoreo, mantenimiento, capacitación, registros, instalaciones de recepción, planes de emergencia y tecnologías de menor impacto.

Los casos de Guayaquil, Callao y Santos evidencian avances en eficiencia energética, electrificación de equipos, tratamiento de aguas, monitoreo ambiental y reporte de información. Sin embargo, las medidas y certificaciones deben acompañarse de indicadores públicos y comparables que permitan verificar sus resultados. En pocas palabras, la sostenibilidad portuaria exige prevenir la contaminación, medir los cambios ambientales y adaptar la infraestructura a los riesgos climáticos, considerando las características propias de cada terminal y su relación con las comunidades cercanas.

Palabras clave: gestión ambiental portuaria, contaminación portuaria, MARPOL, calidad del agua, cambio climático, puertos latinoamericanos.

Abstract

This chapter analyzes the main environmental problems caused by port operations in Latin America and the measures applied to prevent or reduce them. Through a review of international regulations, technical guidelines, institutional sources, and regional experiences, it examines air pollution, carbon dioxide emissions, noise, oil spills, hazardous waste, and waste regulated under MARPOL. It also addresses ballast water management, soil contamination, water quality, and the vulnerability of port infrastructure to climate change.

The analysis shows that these impacts do not occur in isolation. A leak, for example, may simultaneously affect soil, drainage systems, water, and coastal ecosystems. Therefore, environmental management requires a combination of monitoring, maintenance, training, record keeping, reception facilities, emergency plans, and lower-impact technologies.

The cases of Guayaquil, Callao, and Santos show progress in energy efficiency, equipment electrification, wastewater treatment, environmental monitoring, and information reporting. However, measures and certifications should be supported by public and comparable indicators that make it possible to verify their results. It is concluded that port sustainability requires preventing pollution, measuring environmental changes, and adapting infrastructure to climate risks, while considering the particular characteristics of each terminal and its relationship with nearby communities.

Keywords: port environmental management, port pollution, MARPOL, water quality, climate change, Latin American ports.

Objetivo general

Analizar los principales impactos ambientales ocasionados por las operaciones portuarias.

Objetivos específicos

1. Identificar las fuentes y consecuencias de la contaminación atmosférica, acústica, hídrica y del suelo, además de los derrames de hidrocarburos relacionados con las operaciones portuarias.
2. Examinar las medidas de prevención y control aplicables a las emisiones de CO₂, los residuos peligrosos, los residuos MARPOL y las aguas de lastre, considerando la normativa internacional correspondiente.
3. Comparar los principales problemas ambientales y las acciones de gestión documentadas en los puertos de Guayaquil, Callao y Santos, incluyendo su vulnerabilidad frente al cambio climático.

2.1. Introducción

Los puertos representan puntos esenciales para el intercambio de mercancías y el funcionamiento de las cadenas logísticas. En ellos se desarrollan actividades como el atraque de buques, la carga y descarga de productos, el almacenamiento, el transporte terrestre y el abastecimiento de combustibles. Aunque estas operaciones favorecen la economía y el comercio exterior, también producen efectos sobre el aire, el agua, el suelo, los ecosistemas costeros y las comunidades cercanas. Por esta razón, el crecimiento portuario no debería evaluarse únicamente por el volumen de carga movilizada, sino también por la manera en que se controlan sus consecuencias ambientales.

En América Latina, este tema adquiere mayor importancia debido a la expansión de las terminales, el aumento del tráfico marítimo y la cercanía de varios puertos a zonas urbanas y ecosistemas sensibles. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe señala que la modernización del transporte marítimo debe relacionarse con una gobernanza que integre las dimensiones económica, social y ambiental (Sánchez et al., 2015). De igual forma, la Corporación Financiera Internacional reconoce que las operaciones portuarias pueden ocasionar alteraciones en los hábitats, emisiones atmosféricas, contaminación del agua, generación de residuos, ruido y derrames de sustancias peligrosas (International Finance Corporation [IFC], 2017).

En consecuencia, la gestión ambiental portuaria requiere identificar las fuentes de contaminación, comprender sus consecuencias y aplicar medidas de prevención, control y adaptación. Para desarrollar este análisis se realizó una revisión documental de publicaciones científicas, normas internacionales, guías técnicas y fuentes institucionales relacionadas con los principales impactos de las operaciones portuarias. Asimismo, se examinaron los puertos de

Guayaquil, Callao y Santos, seleccionados por presentar diferentes condiciones geográficas, operativas y administrativas dentro de América Latina.

La comparación consideró, cuando las fuentes proporcionaron información suficiente, indicadores como las emisiones totales e intensivas de CO₂e, el consumo energético y de agua por unidad de carga, la generación y valorización de residuos, las emisiones de NO_x, SO_x y material particulado, los niveles de ruido y los registros de derrames. El empleo de estos indicadores permite diferenciar la implementación de una medida ambiental de sus resultados comprobables, debido a que una certificación, la electrificación de un equipo o la instalación de una nueva tecnología no demuestran por sí solas una mejora integral del desempeño portuario.

2.1.1. Metodología de la revisión documental

El capítulo se desarrolló mediante una revisión documental descriptiva orientada a identificar, organizar y comparar información sobre los principales problemas ambientales relacionados con las operaciones portuarias latinoamericanas. La revisión permitió vincular las fuentes de contaminación con sus consecuencias ambientales, la normativa aplicable, las medidas de prevención y los indicadores utilizados para evaluar el desempeño. No se realizaron mediciones directas dentro de las terminales ni un metaanálisis estadístico, debido a que las fuentes consultadas emplearon diferentes periodos, unidades, metodologías y límites operativos.

La búsqueda de publicaciones científicas se efectuó en Google Académico, SciELO, Redalyc y ScienceDirect. De manera complementaria, se consultaron documentos de la Organización Marítima Internacional, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, la Corporación Financiera Internacional, la Organización Mundial de la Salud, organismos ambientales y marítimos, autoridades portuarias y operadores de terminales. Las fuentes publicadas por los operadores se utilizaron para identificar medidas implementadas y resultados

reportados, pero no fueron consideradas verificaciones independientes de su desempeño ambiental.

El periodo principal de búsqueda comprendió desde enero de 2019 hasta agosto de 2026, con la finalidad de priorizar información reciente. No obstante, se admitieron documentos anteriores cuando correspondían a convenios internacionales vigentes, normas, guías técnicas fundamentales o estudios regionales que continuaban siendo pertinentes. Este criterio permitió incluir instrumentos como el Convenio MARPOL, el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques, el *GHG Protocol* y determinadas publicaciones técnicas cuya fecha era anterior al periodo establecido, pero que mantenían utilidad normativa o metodológica.

Las búsquedas se realizaron mediante palabras clave en español, inglés y portugués. En español se utilizaron expresiones como “contaminación portuaria”, “gestión ambiental portuaria”, “emisiones de puertos”, “ruido portuario”, “derrames de hidrocarburos”, “residuos MARPOL”, “agua de lastre”, “calidad del agua en puertos” y “adaptación climática portuaria”. En inglés se emplearon los términos “port environmental management”, “port pollution”, “port emissions”, “port noise”, “oil spills”, “MARPOL waste”, “ballast water management” y “climate adaptation in ports”. En portugués se usaron las expresiones “gestão ambiental portuária”, “poluição portuária”, “emissões portuárias”, “resíduos de embarcações”, “água de lastro” y “adaptação climática dos portos”.

Los criterios de inclusión comprendieron artículos científicos, convenios internacionales, informes técnicos, evaluaciones ambientales y documentos institucionales vinculados directamente con las operaciones portuarias. También se incluyeron fuentes que presentaran información sobre puertos latinoamericanos, medidas de prevención, indicadores ambientales,

normativa aplicable o experiencias documentadas en terminales específicas. Los documentos debían contar con autor o institución responsable, fecha identificable y acceso al texto completo o a información suficiente para comprobar su contenido.

Se excluyeron documentos duplicados, publicaciones sin procedencia identificable, contenidos sin relación directa con las actividades portuarias y materiales que repetían afirmaciones sin aportar datos, normas o evidencia técnica. Asimismo, se descartaron versiones desactualizadas cuando existía una edición posterior y contenidos promocionales que calificaban a un puerto como sostenible, verde o exitoso sin presentar indicadores, metodología o resultados verificables.

El procedimiento de selección comenzó con la revisión de títulos y resúmenes. Posteriormente se examinaron los textos completos para comprobar su pertinencia y correspondencia con los criterios establecidos. Como resultado de este proceso se conformó un corpus de 41 fuentes: 34 documentos se utilizaron para el análisis científico, técnico, normativo e institucional y siete fuentes se emplearon exclusivamente para documentar la procedencia de las figuras. Las fuentes seleccionadas fueron organizadas mediante una matriz que incluyó el problema ambiental, las actividades generadoras, las consecuencias, el marco normativo, las medidas de prevención, los indicadores disponibles, el puerto relacionado y el nivel de evidencia.

Los puertos de Guayaquil, Callao y Santos fueron seleccionados por presentar diferencias geográficas, operativas y administrativas, además de disponer de información institucional relacionada con medidas y programas ambientales. Su selección no respondió a una clasificación previa como puertos exitosos o sostenibles. El análisis buscó examinar las medidas documentadas, los indicadores reportados y las limitaciones de la información disponible.

Para valorar la solidez de las afirmaciones se diferenciaron tres niveles de evidencia. Se consideró evidencia alta aquella procedente de autoridades públicas, normas obligatorias, informes técnicos con metodología identificable o verificaciones independientes. La evidencia media correspondió a información institucional difundida por autoridades u operadores sin acceso completo a las bases de datos, los procedimientos de cálculo o las series históricas. La evidencia baja comprendió noticias o declaraciones sin respaldo técnico suficiente. Cuando las fuentes no presentaron datos comparables, se señaló esta limitación y se evitó establecer conclusiones de superioridad, éxito o sostenibilidad integral entre los puertos estudiados.

2.2. Contaminación atmosférica producida por las operaciones portuarias

La contaminación atmosférica portuaria se origina cuando las actividades marítimas y terrestres liberan gases, partículas y vapores capaces de modificar la composición del aire. Entre las principales fuentes se encuentran los motores de propulsión y auxiliares de los buques, los remolcadores, camiones, locomotoras, grúas, montacargas, generadores y otros equipos que utilizan combustibles fósiles. También se produce polvo durante la manipulación de carbón, minerales, granos, cemento y otros productos a granel, mientras que el almacenamiento y la transferencia de combustibles líquidos pueden generar emisiones de compuestos orgánicos volátiles (International Finance Corporation [IFC], 2017).

Los contaminantes más relacionados con estas operaciones son los óxidos de nitrógeno (NO_x), los óxidos de azufre (SO_x), el monóxido de carbono, el material particulado especialmente PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ y los compuestos orgánicos volátiles. El Anexo VI del Convenio MARPOL establece controles sobre las emisiones de SO_x , NO_x y material particulado procedentes de los buques, además de regular las sustancias que agotan la capa de ozono y determinadas emisiones de compuestos orgánicos volátiles (Organización Marítima Internacional [OMI], s. f.-a).

Para evaluar este problema es necesario diferenciar las emisiones generadas de la calidad del aire medida. Las emisiones representan la masa de contaminantes liberada por una fuente o conjunto de fuentes durante un periodo determinado y pueden expresarse en toneladas anuales de NO_x , SO_x o material particulado. En cambio, la calidad del aire corresponde a la concentración existente en un lugar y momento específicos, habitualmente expresada en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Por lo tanto, un inventario de emisiones permite determinar cuánto contamina una actividad, mientras que una estación de monitoreo permite conocer la exposición existente en el entorno. Ambos resultados se complementan, pero no deben interpretarse como si fueran equivalentes.

Un programa portuario de seguimiento debería registrar, como mínimo, las toneladas anuales emitidas por cada grupo de fuentes, las concentraciones de PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 y SO_2 en puntos representativos, la duración de las campañas y las condiciones meteorológicas durante las mediciones. Los puntos de control deben incluir sectores operativos, límites de la terminal y receptores sensibles, como viviendas, escuelas o centros de salud. La frecuencia puede ser continua en las zonas de mayor riesgo o periódica cuando las condiciones operativas sean estables, de acuerdo con la normativa nacional y los instrumentos de gestión ambiental aplicables.

Entre las medidas de prevención se encuentran la utilización de combustibles con menor contenido de azufre, el mantenimiento de los motores, la electrificación de equipos, la reducción del tiempo de espera de los camiones y el suministro de electricidad terrestre a los buques atracados. Para las cargas secas pueden utilizarse bandas transportadoras cubiertas, sistemas de aspiración, almacenamiento cerrado y humectación controlada. En el Puerto del Callao, la instalación de una faja transportadora se asoció con una reducción de la dispersión de partículas durante el movimiento de minerales (Fundación Valenciaport, 2021). Esta intervención representa

una medida de control de una fuente específica, pero su efectividad ambiental completa debe comprobarse mediante inventarios y mediciones periódicas de la calidad del aire.

Figura 1

Emisiones atmosféricas de un buque en una zona portuaria



Nota. La imagen muestra emisiones atmosféricas producidas por un buque durante su operación cerca de una terminal portuaria. Estas pueden incluir óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, material particulado y otros contaminantes derivados de la combustión. Adaptado de “¿Cuántas emisiones contaminantes aporta el transporte marítimo?”, por Agencia SINC, 2018 (<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Cuantas-emisiones-contaminantes-aporta-el-transporte-maritimo>). Fotografía de Fundación Descubre, CC BY 4.0.

2.3. Emisiones de CO₂ y descarbonización de los puertos

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero generado principalmente por la combustión de diésel, gasolina, gas y otros combustibles. A diferencia del material particulado o de los óxidos de azufre, su efecto no se limita al entorno inmediato del puerto, pues contribuye al calentamiento global. En una terminal portuaria, estas emisiones proceden de los buques que maniobran o permanecen atracados, pero también de las grúas, tractocamiones, montacargas, locomotoras, vehículos internos, generadores y demás equipos utilizados en tierra.

El inventario climático no debe limitarse al CO₂. Es recomendable expresar conjuntamente los diferentes gases de efecto invernadero como dióxido de carbono equivalente (CO₂e), aplicando los factores de conversión correspondientes. Las emisiones totales se expresan en toneladas de CO₂e por año (t CO₂e/año) y permiten observar la magnitud absoluta de la huella climática. Sin embargo, este resultado puede aumentar cuando crece el volumen de carga, aunque la operación sea más eficiente. Por esta razón, también se necesita un indicador de intensidad.

En terminales de contenedores, la intensidad puede expresarse en kilogramos de CO₂e por TEU movilizado (kg CO₂e/TEU). En terminales de graneles o carga general resulta más apropiado utilizar kilogramos de CO₂e por tonelada de carga (kg CO₂e/t). El indicador se calcula dividiendo las emisiones correspondientes al periodo entre el volumen de actividad portuaria. Para asegurar comparaciones válidas se deben declarar los límites del inventario, las fuentes incluidas, el año de referencia y la metodología de cálculo. Un puerto puede reducir su intensidad y, al mismo tiempo, aumentar sus emisiones totales si el crecimiento de la actividad supera las mejoras de eficiencia; por ello, ambos valores deben presentarse conjuntamente.

La Agência Nacional de Transportes Aquaviários (2023) considera que los inventarios constituyen el punto de partida para planificar la descarbonización y comprobar los resultados de

las medidas adoptadas. Entre las alternativas se encuentran la sustitución de equipos diésel por eléctricos o híbridos, el uso de iluminación LED, la incorporación de fuentes renovables, la optimización de recorridos internos y la coordinación de las llegadas para reducir esperas. El suministro de electricidad desde tierra también permite disminuir el tiempo durante el cual los buques mantienen encendidos sus motores auxiliares. Estas acciones coinciden con la estrategia de la OMI orientada a reducir las emisiones del transporte marítimo internacional y avanzar hacia emisiones netas cero alrededor de 2050 (OMI, 2023).

Según información difundida por PortalPortuario (2025), el Terminal Portuario de Guayaquil obtuvo una verificación de neutralidad de carbono correspondiente a sus operaciones de 2022. El proceso incluyó la cuantificación de emisiones, medidas de eficiencia y la compensación de las emisiones restantes mediante certificados. Este antecedente documenta una acción asociada con la transición ambiental, pero no demuestra automáticamente la sostenibilidad integral de la terminal. Para realizar esa valoración también serían necesarios indicadores públicos y comparables sobre emisiones absolutas, intensidad de carbono, calidad del aire, agua, residuos, ruido y efectos sobre los ecosistemas.

Figura 2

Fuentes portuarias e industriales de emisiones de CO₂



Nota. Representación de la contaminación y emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas al transporte y la industria. Adaptado de "4 medidas para reducir las emisiones de CO₂ en el transporte de mercancías", por J. Facey, s.f., *KENSA Logistics* (<https://kensalogistics.com/4-medidas-para-reducir-las-emisiones-de-co2-en-el-transporte-de-mercancias/>).

2.4. Contaminación acústica en el entorno portuario

La contaminación acústica portuaria comprende distintas formas de exposición que deben analizarse separadamente. El ruido laboral corresponde al que reciben los trabajadores durante su jornada en muelles, patios, talleres y zonas de operación. El ruido ambiental es el que alcanza a las comunidades y otros receptores ubicados dentro o fuera del recinto portuario. El ruido submarino, por su parte, se propaga bajo el agua y puede afectar a peces, mamíferos marinos y otros organismos.

Entre las fuentes de ruido laboral y ambiental se encuentran los motores de los buques, las grúas, los golpes de contenedores, bocinas, alarmas de retroceso, camiones, trenes, generadores y trabajos de mantenimiento. Durante la construcción o ampliación de un puerto también se genera ruido por dragado, perforación e instalación de pilotes. El problema puede intensificarse porque

muchas terminales trabajan durante las veinticuatro horas y se encuentran próximas a sectores residenciales.

La Organización Mundial de la Salud (2018) relaciona la exposición excesiva al ruido ambiental con alteraciones del sueño, molestias, efectos cardiovasculares y disminución del bienestar. En el ámbito laboral, la exposición prolongada también puede producir pérdida auditiva e interferencias en la comunicación. En consecuencia, no debe utilizarse una única medición para representar todas las formas de exposición.

El ruido laboral y ambiental suele medirse en decibelios ponderados A, expresados como dB(A). Para el entorno comunitario conviene registrar niveles equivalentes, máximos y mínimos, diferenciando los periodos diurno y nocturno. La frecuencia de medición debe definirse según la intensidad de las operaciones, la cercanía de receptores sensibles, las exigencias legales y la existencia de quejas. Puede incluir monitoreo continuo en zonas críticas, campañas mensuales o trimestrales y mediciones adicionales cuando se incorporen nuevos equipos o cambie la operación.

El ruido submarino requiere una metodología distinta y suele expresarse en decibelios referidos a un micropascal (dB re 1 μ Pa), junto con información sobre frecuencias, duración y distancia respecto de la fuente. En el complejo de bahías de Manzanillo, México, Rosales-Chapula et al. (2022) identificaron una presencia frecuente de ruido producido por embarcaciones, con diferencias según la zona y la intensidad del tráfico marítimo.

Para controlar el impacto acústico se deben identificar y caracterizar las fuentes, elaborar mapas de ruido y relacionar los resultados con los horarios de operación. Fredianelli et al. (2022) señalan que esta caracterización es necesaria para construir mapas confiables y seleccionar medidas adecuadas. Entre las alternativas se encuentran el mantenimiento de maquinaria, la

instalación de barreras acústicas, el aislamiento de generadores, la electrificación de equipos y la regulación de actividades especialmente ruidosas durante la noche.

Figura 3

Propagación submarina del ruido generado por actividades marítimas



Nota. La infografía representa la propagación submarina del ruido producido por el transporte marítimo, las operaciones industriales y otras actividades humanas. Cortesía del Laboratory of Applied Bio-Acoustics (LAB), Universitat Politècnica de Catalunya–BarcelonaTech. Tomado de “La contaminación acústica del ser humano afecta catastróficamente al ambiente marino”, por D. Loctier, 2023, *Euronews* (<https://es.euronews.com/2023/06/27/la-contaminacion-acustica-del-ser-humano-afecta-catastroficamente-al-ambiente-marino>).

2.5. Derrames de hidrocarburos y afectación del medio marino

Los derrames de hidrocarburos pueden ocurrir durante la carga, descarga, almacenamiento o abastecimiento de combustibles. También pueden originarse por roturas de tuberías y mangueras, fallas de válvulas, desbordamientos de tanques, errores humanos o

accidentes entre embarcaciones. Aunque algunos eventos son pequeños, su repetición puede ocasionar una contaminación persistente. Los derrames de mayor tamaño pueden extenderse fuera de la terminal y afectar amplias zonas costeras.

Cuando el petróleo entra en contacto con el agua puede adherirse a playas, manglares, rocas y sedimentos. Además, perjudica a peces, aves y mamíferos marinos, mientras que algunos de sus componentes pueden permanecer durante periodos prolongados. Las consecuencias también afectan a la pesca, el turismo y las comunidades que dependen de los recursos costeros. Por consiguiente, el impacto puede ser ambiental, económico y social.

El Anexo I del Convenio MARPOL, adoptado en el marco de la OMI, establece reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos procedente de los buques (OMI, s. f.-b). De manera complementaria, el Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos establece obligaciones relacionadas con planes de emergencia, notificación, disponibilidad de equipos y ejercicios de respuesta (OMI, s. f.-c).

En el ámbito portuario, la prevención comprende inspeccionar tanques, válvulas y mangueras, instalar dispositivos de cierre, mantener áreas de contención secundaria y capacitar al personal. Cuando se produce un derrame, las primeras acciones consisten en detener la fuente, notificar el incidente y proteger las zonas sensibles. Posteriormente pueden emplearse barreras, equipos recuperadores, materiales absorbentes y depósitos temporales para los residuos recogidos.

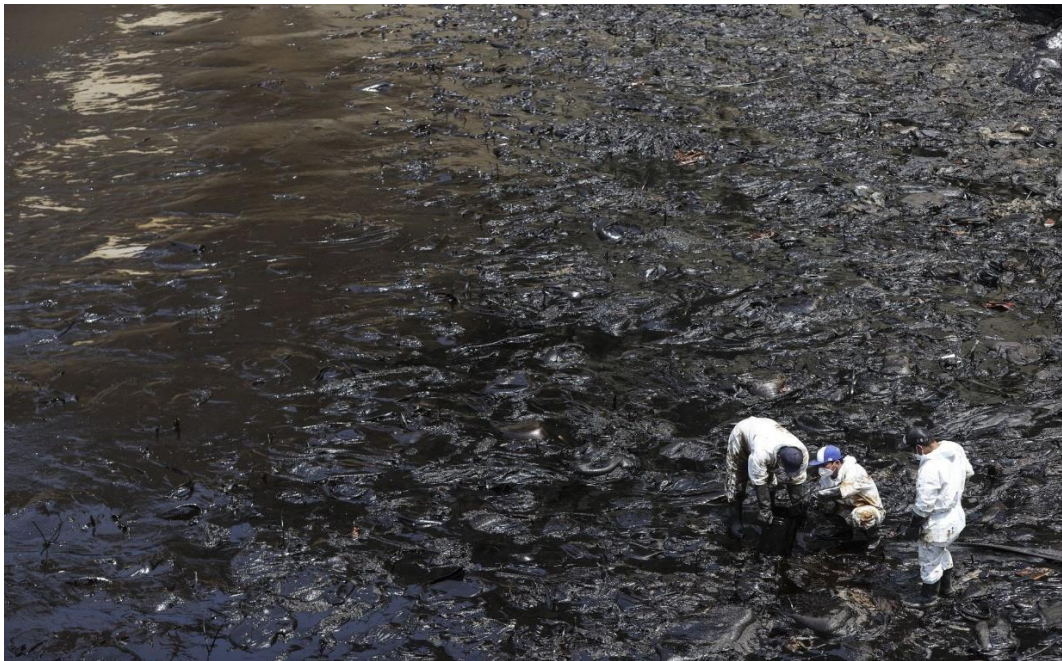
El desempeño de la respuesta puede evaluarse mediante el número de derrames registrado por año, el volumen derramado en litros, metros cúbicos o toneladas, el tiempo transcurrido entre la detección y la contención, la superficie afectada en hectáreas, la longitud de costa comprometida y el porcentaje de hidrocarburo recuperado. También debe registrarse la duración

del monitoreo posterior. La ausencia de derrames mayores no elimina la necesidad de contabilizar fugas pequeñas y eventos evitados, porque estos datos ayudan a identificar fallas recurrentes.

Un caso relevante fue el derrame ocurrido en enero de 2022 durante una operación de descarga de crudo en el Terminal Multiboyas N.º 2 de la Refinería La Pampilla, en Perú. El seguimiento del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental identificó afectaciones en agua, sedimentos y formaciones costeras mediante el análisis de aceites, grasas e hidrocarburos totales de petróleo (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2022). El caso evidencia que un incidente de transferencia puede superar rápidamente el espacio de la terminal y que la valoración del impacto requiere mediciones posteriores a la respuesta inicial.

Figura 4

Labores de limpieza tras el derrame de petróleo de La Pampilla



Nota. Trabajadores retiran hidrocarburos de una zona costera afectada por el derrame ocurrido en enero de 2022 durante una operación de descarga en la Refinería La Pampilla, Perú. Tomada de “Derrame en La Pampilla: a un mes del desastre, lo único tangible es el petróleo en el mar”, por R. Chuquín, 2022, *Convoca* (<https://convoca.pe/agenda-propia/derrame-en-la-pampilla-un-mes-del-desastre-lo-unico-tangible-es-el-petroleo-en-el-mar>). Fotografía de Andina.

2.6. Generación y manejo de residuos peligrosos

Los residuos peligrosos son aquellos que, por sus características, requieren controles especiales para evitar daños a las personas y al ambiente. En los puertos pueden generarse durante el mantenimiento de grúas, vehículos y embarcaciones, así como en talleres, depósitos y zonas de transferencia de carga. Entre los ejemplos más comunes se encuentran aceites lubricantes usados, filtros contaminados, solventes, restos de pintura, baterías, envases de sustancias químicas y materiales absorbentes utilizados después de una fuga. La clase y la cantidad dependen de las operaciones realizadas y de los buques atendidos (IFC, 2017).

El problema se presenta cuando estos materiales se mezclan con residuos ordinarios, permanecen en recipientes abiertos o se entregan a gestores no autorizados. Una gestión inadecuada puede producir incendios, exposición de los trabajadores y contaminación del suelo o del agua. Para prevenir estos efectos, los residuos deben identificarse y separarse desde el lugar de generación, conservarse en recipientes cerrados y etiquetados y almacenarse sobre superficies impermeables, bajo cubierta y con sistemas de contención.

La gestión debe evaluarse mediante indicadores absolutos y relativos. La cantidad total generada puede expresarse en kilogramos o toneladas por año, mientras que la intensidad puede calcularse en kilogramos de residuos peligrosos por TEU movilizado (kg/TEU) o por tonelada de carga (kg/t). La segunda unidad resulta más adecuada para terminales de graneles y carga general.

También deben calcularse el porcentaje de residuos tratados, el porcentaje valorizado mediante reutilización, reciclaje o recuperación y el porcentaje enviado a disposición final. Estos indicadores se obtienen dividiendo la masa correspondiente a cada destino entre la masa total de residuos generada y multiplicando el resultado por cien. Las categorías deben ser mutuamente claras para evitar contabilizar dos veces el mismo material. Además, una reducción de kg/TEU no debe interpretarse automáticamente como mejora si existen cambios en la clasificación, subregistro o almacenamiento pendiente.

La gestión no concluye cuando el residuo sale del recinto portuario. Se debe comprobar su transporte, tratamiento y destino final mediante empresas autorizadas. Cuando existe un traslado entre países, corresponde considerar el Convenio de Basilea sobre los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación (Secretaría del Convenio de Basilea, 2025). En los puertos administrados por PortosRio, las empresas deben habilitarse para participar en las diferentes etapas de la cadena, desde la recolección a bordo y el almacenamiento temporal hasta el tratamiento y la disposición final (Companhia Docas do Rio de Janeiro, 2026). Este procedimiento institucional muestra la importancia de conservar registros y trazabilidad.

2.7. Manejo de aguas de lastre y especies invasoras

El agua de lastre se utiliza para mantener la estabilidad, el calado y la seguridad del buque cuando cambia la cantidad o distribución de la carga. El riesgo ambiental se produce porque el agua tomada en un puerto puede contener bacterias, larvas, organismos y sedimentos que posteriormente son descargados en otro lugar. Si una especie sobrevive y logra reproducirse, puede competir con organismos nativos, modificar la cadena alimentaria o afectar actividades como la pesca.

El Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques fue adoptado el 13 de febrero de 2004 y entró en vigor el 8 de septiembre de 2017. Este instrumento exige que los buques gestionen el agua de lastre conforme a estándares definidos, dispongan de un plan específico, mantengan un libro de registro y cuenten con el certificado correspondiente (OMI, 2004).

La gestión puede incluir el cambio de agua en condiciones autorizadas o el tratamiento a bordo mediante sistemas capaces de reducir la presencia de organismos viables. Cuando se realiza la limpieza o reparación de tanques de lastre, los puertos también deben disponer de instalaciones adecuadas para recibir sedimentos. Entre las tecnologías empleadas se encuentran la filtración, la radiación ultravioleta, el ozono y determinados tratamientos químicos (IFC, 2017).

La eficacia del control puede evaluarse mediante el porcentaje de buques inspeccionados y el porcentaje de cumplimiento. El primero se obtiene dividiendo el número de buques inspeccionados entre el número de arribos sujetos a control y multiplicando el resultado por cien. El segundo se calcula dividiendo los buques que cumplen los requisitos entre el total inspeccionado. También deben registrarse las muestras tomadas, las deficiencias identificadas, los tratamientos declarados y las medidas correctivas. En Santa Marta, Colombia, la Dirección General Marítima informó que en 2022 realizó seguimiento y control a 24 buques mediante análisis de sus aguas de lastre (Dirección General Marítima, 2022).

Figura 5

Sistema de filtración y tratamiento del agua de lastre en un buque



Nota. Esquema del proceso de captación, filtración previa y desinfección UV del agua de lastre a bordo de un buque. Adaptado de "Especies invasoras en el agua de lastre finiquitan el berberecho gallego", por R. Villa Caro, 2017, *Exponav* (<https://www.exponav.org/especies-invasoras-agua-lastre-finiquitan-berberecho-gallego/>).

2.8. Gestión de residuos regulados por MARPOL

Los residuos regulados por MARPOL no constituyen una sola categoría. El Anexo I comprende hidrocarburos y mezclas oleosas, como lodos y aguas de sentina contaminadas. El Anexo II regula los residuos de sustancias líquidas nocivas transportadas a granel. El Anexo IV se refiere a las aguas sucias de los buques, mientras que el Anexo V regula las basuras, incluidos plásticos, residuos de alimentos, desechos domésticos, residuos operacionales y determinados residuos de carga. La descarga de plásticos al mar está prohibida (OMI, 1973).

Esta clasificación es importante porque cada corriente requiere procedimientos, conexiones, almacenamiento y tratamientos diferentes. Los residuos incompatibles no deben mezclarse, ya que esto puede aumentar el riesgo y dificultar su recuperación. Antes de la entrega se debe conocer el tipo y la cantidad del residuo; durante la operación se necesitan conexiones

seguras, recipientes cerrados y personal capacitado; después debe quedar constancia de la recepción, el transporte y el destino final (IFC, 2017).

Las instalaciones portuarias deben registrar el volumen de residuos líquidos recibido, expresado en metros cúbicos por año, y la masa de residuos sólidos, expresada en toneladas por año. También puede calcularse el porcentaje gestionado mediante instalaciones portuarias, dividiendo la cantidad efectivamente recibida entre la cantidad notificada para entrega durante el mismo periodo y multiplicando el resultado por cien. Los porcentajes deben calcularse por separado para cada corriente de residuos, porque no resulta válido sumar aguas sucias, mezclas oleosas y basuras sin distinguir sus unidades y tratamientos.

En el Puerto de Santos, las empresas interesadas en retirar residuos sólidos u oleosos de las embarcaciones deben solicitar su registro y autorización. La documentación es evaluada por el equipo técnico antes de emitir el certificado correspondiente (Autoridade Portuária de Santos S. A., 2025). Este trámite permite identificar responsables, aunque debe complementarse con vigilancia durante la entrega y registros verificables sobre transporte, tratamiento y disposición final.

Figura 6

Recolección automatizada de residuos flotantes en aguas portuarias



Nota. La fotografía muestra una embarcación autónoma utilizada para recolectar residuos flotantes en aguas portuarias. Aunque esta tecnología contribuye a la limpieza del puerto, no representa específicamente el manejo de residuos peligrosos. Tomado de “La gestión de residuos portuarios exige trazabilidad, control y voluntad política”, por V. Trazas, 2025, *Confluencia Portuaria*. Crédito de la fotografía: Puerto de Hamburgo.

2.9. Contaminación del suelo en las zonas portuarias

La contaminación del suelo portuario se produce cuando combustibles, aceites, productos químicos o residuos se incorporan a la superficie o al subsuelo en concentraciones capaces de alterar sus condiciones naturales (Quintero et al., 2010). Las fuentes más frecuentes están relacionadas con fugas en tanques y tuberías, fallas de mangueras durante el abastecimiento, mantenimiento de equipos, almacenamiento deficiente de sustancias peligrosas y derrames de carga.

Este impacto no permanece necesariamente dentro del terreno. Los contaminantes pueden infiltrarse y llegar al agua subterránea, ser arrastrados por la lluvia hacia el sistema de drenaje o alcanzar el estuario cercano. Además, una zona contaminada limita futuros usos del espacio y puede requerir una remediación costosa. Las principales medidas preventivas son pavimentar e impermeabilizar las áreas de mayor riesgo, instalar contención secundaria en tanques y zonas de carga, separar el drenaje contaminado del agua lluvia limpia e inspeccionar periódicamente equipos, válvulas y mangueras. La IFC (2017) también recomienda que las áreas temporales de almacenamiento faciliten la recuperación de fugas y se encuentren protegidas frente a impactos de vehículos.

La gestión debe incluir un inventario de sustancias, procedimientos para responder a derrames y análisis del suelo cuando existan antecedentes o señales de contaminación. La norma ISO 14001:2026 puede servir como marco para ordenar responsabilidades, objetivos, controles y mejora continua, aunque no reemplaza los límites ni las obligaciones establecidas por la legislación de cada país (International Organization for Standardization, 2026).

En este contexto, Brasil otorgó la primera licencia de operación del Puerto de Santos, misma que permitió regularizar y ejecutar programas ambientales relacionados, entre otros aspectos, con suelo, residuos y efluentes (Ministerio de Transportes, Puertos y Aviación Civil de Brasil, 2017). El caso muestra que el control del suelo debe formar parte del licenciamiento y no simplemente aplicarse después de una emergencia.

2.10. Calidad del agua y principales indicadores ambientales

La calidad del agua en un puerto puede modificarse por el dragado, la resuspensión de sedimentos, la escorrentía de patios, el mantenimiento de los buques, los vertidos de aguas residuales y los derrames de combustibles o sustancias químicas. Estas presiones pueden aumentar

la turbidez, introducir contaminantes y disminuir el oxígeno disponible para la vida acuática. La carga excesiva de nutrientes también puede favorecer la eutrofización y la proliferación de algas (IFC, 2017).

La apariencia del agua no permite determinar su estado ambiental. Se necesita un programa de muestreo que defina parámetros, unidades, puntos de control, métodos analíticos y frecuencia. Los resultados deben compararse con la normativa nacional aplicable, los valores de referencia del propio puerto y las condiciones de salinidad, temperatura, mareas y usos del entorno.

Tabla 1.

Principales indicadores de calidad del agua en los puertos

Indicador	Unidad habitual	Qué permite observar	Relación con la actividad portuaria	Frecuencia orientativa
pH	Unidades de pH	Grado de acidez o alcalinidad	Puede cambiar por descargas químicas y condiciona la disponibilidad de otras sustancias.	En cada campaña; continua en puntos críticos cuando el riesgo lo justifique.
Oxígeno disuelto	mg/L	Oxígeno disponible para los organismos acuáticos	Un valor reducido puede relacionarse con alta carga orgánica o escasa renovación del agua.	En cada campaña; continua cuando exista riesgo de eutrofización.
Turbidez	UNT o NTU	Presencia de partículas suspendidas	Puede aumentar por dragado, escorrentía y manejo de graneles.	En cada campaña y durante operaciones de dragado cuando corresponda.
DBO ₅	mg O ₂ /L	Oxígeno consumido al degradarse la materia orgánica	Ayuda a identificar aportes de aguas residuales o desechos orgánicos.	Mensual o trimestral, según el riesgo y el permiso ambiental.

DQO	mg O ₂ /L	Carga de sustancias susceptibles de oxidación	Permite estimar una carga contaminante más amplia que la DBO ₅ .	Mensual o trimestral, según el riesgo y el permiso ambiental.
Hidrocarburos, aceites y grasas	mg/L o µg/L	Presencia de combustibles y derivados	Se relaciona con fugas, abastecimiento, sentinas y transferencia de productos.	Periódica y después de derrames o incidentes.
Metales pesados	µg/L o mg/L	Presencia de elementos tóxicos y persistentes	Pueden proceder de cargas, pinturas, corrosión, industrias cercanas o sedimentos históricos.	Trimestral o semestral; antes, durante y después del dragado cuando exista riesgo.

Nota. *Nota.* Las frecuencias presentadas son orientativas. La periodicidad definitiva debe establecerse según la normativa nacional, la licencia ambiental, las características hidrodinámicas, los usos del cuerpo de agua y el nivel de riesgo de cada instalación.

Los puntos de control deben abarcar áreas internas y externas, sectores próximos a fuentes potenciales y estaciones de referencia. También conviene estudiar los sedimentos, porque pueden acumular contaminantes y liberarlos cuando son removidos por el dragado. La conservación de métodos y puntos de muestreo comparables permite reconocer tendencias y evita que el análisis se limite a situaciones aisladas.

El consumo de agua no debe confundirse con la calidad del agua. El primero es un indicador de uso eficiente del recurso y puede expresarse en metros cúbicos consumidos por TEU (m³/TEU) o por tonelada de carga (m³/t). La calidad, en cambio, se evalúa mediante concentraciones y propiedades físicas, químicas o biológicas. Un puerto puede reducir su consumo sin que eso

garantice una mejora en la calidad del cuerpo receptor; por ello, ambos aspectos deben reportarse separadamente.

En el Puerto de Suape, Brasil, se informó el monitoreo de 15 estaciones situadas en áreas internas y externas. Los parámetros analizados incluyeron salinidad, temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, DBO, DQO, aceites y grasas, metales e hidrocarburos, además de contaminantes en sedimentos y componentes de la biota acuática (Porto de Suape, 2019). Este caso documenta un programa de seguimiento con múltiples parámetros, aunque la valoración de sus resultados requiere observar tendencias, límites aplicables y continuidad temporal.

2.11. Cambio climático, vulnerabilidad y adaptación portuaria

El cambio climático representa un riesgo directo para los puertos porque gran parte de su infraestructura se encuentra en costas, estuarios o desembocaduras de ríos. La mitigación y la adaptación cumplen funciones diferentes. La mitigación busca reducir las emisiones que contribuyen al calentamiento global, mientras que la adaptación procura disminuir los daños que las condiciones climáticas actuales y futuras pueden ocasionar en las instalaciones y operaciones. Ambas respuestas son necesarias y deben evaluarse mediante indicadores distintos.

Entre las amenazas que pueden afectar a un puerto se encuentran la elevación del nivel del mar, las marejadas, la erosión costera, las lluvias intensas, las inundaciones, los vientos fuertes, las temperaturas extremas y los cambios en la sedimentación. Sus consecuencias pueden observarse en muelles, patios, bodegas, rompeolas, redes eléctricas, sistemas de drenaje y vías de acceso. También pueden suspender el atraque, la carga o el transporte terrestre, extendiendo el impacto a toda la cadena logística. La vulnerabilidad depende de la exposición de cada puerto, del estado de sus activos y de su capacidad para anticipar, resistir y recuperar las operaciones (Aita, 2023).

La adaptación debe comenzar con la identificación de los activos críticos, el análisis de información climática y la evaluación de la probabilidad y las consecuencias de cada amenaza. Posteriormente se seleccionan medidas administrativas, como sistemas de alerta, protocolos de suspensión segura, planes de continuidad y mantenimiento preventivo, o intervenciones físicas, como mejorar drenajes, elevar equipos eléctricos y reforzar muelles y rompeolas. Estas obras deben evaluarse también por sus posibles efectos ambientales y no pueden aplicarse de la misma forma en todos los puertos (Aita, 2023).

El seguimiento puede incluir el número de eventos climáticos registrados por año, las horas de interrupción operativa ocasionadas por estos eventos, el tiempo medio de recuperación y el porcentaje de infraestructura crítica sometida a una evaluación de riesgo actualizada. Este último indicador se calcula dividiendo el número de activos críticos evaluados entre el total identificado y multiplicando el resultado por cien. También puede registrarse el porcentaje de medidas de adaptación implementadas respecto de las programadas.

Estos indicadores no prueban por sí solos que un puerto sea resiliente. Por ejemplo, una reducción de las horas de interrupción puede deberse a condiciones climáticas menos severas y no necesariamente a una mejor preparación. Por ello, los datos operativos deben analizarse conjuntamente con la intensidad de los eventos, el estado de la infraestructura y el cumplimiento de las medidas previstas. Un puerto adaptado no es aquel que nunca se detiene, sino aquel que conoce sus riesgos, reduce sus puntos débiles y puede restablecer sus funciones esenciales en un tiempo razonable.

Figura 7



Nota. Vista aérea de contenedores volcados e instalaciones dañadas debido a eventos meteorológicos extremos. Adaptado de "Cambio climático: La creciente amenaza contra los puertos, el comercio y el desarrollo sostenible", por MundoMarítimo, 2021, *MundoMarítimo* (<https://www.mundomaritimo.cl/noticias/cambio-climatico-la-creciente-amenaza-contra-los-puertos-el-comercio-y-el-desarrollo-sostenible>).

2.12. Casos de estudio en puertos latinoamericanos

Los casos de Guayaquil, Callao y Santos se presentan mediante una estructura uniforme que permite distinguir las características operativas, las presiones ambientales, las medidas implementadas y los resultados cuantificados. La comparación tiene un propósito descriptivo y no busca elaborar una clasificación de puertos verdes, debido a que las fuentes disponibles no utilizan necesariamente los mismos límites operativos, años de referencia, metodologías ni unidades.

Para valorar la solidez de la información se emplean tres niveles de evidencia. Se considera evidencia alta aquella procedente de autoridades públicas, normas obligatorias, informes técnicos con metodología identificable o resultados sometidos a verificación independiente. La evidencia media corresponde a información institucional publicada por operadores o autoridades, pero sin acceso completo a las bases de datos, metodología o series históricas. La evidencia baja comprende noticias o declaraciones sin respaldo técnico suficiente. Esta clasificación se aplica a las afirmaciones analizadas y también es sumamente importante recalcar que, no constituye una calificación general del puerto.

2.12.1. Puerto de Guayaquil, Ecuador

Ubicación y características operativas. El Puerto Marítimo Libertador Simón Bolívar se localiza al sur de Guayaquil, dentro del sistema estuarino del Estero Salado. Su comunicación con el mar depende de un canal de acceso que requiere condiciones adecuadas de profundidad y navegabilidad. La terminal pública funciona bajo un modelo de concesión y Contecon Guayaquil S. A. opera las instalaciones de contenedores y carga multipropósito (Cámara Marítima del Ecuador, s. f.).

Presiones ambientales. La ubicación estuarina convierte al dragado y al manejo de sedimentos en aspectos relevantes. También existen presiones relacionadas con las emisiones de los buques, camiones y equipos portuarios, el ruido, las aguas residuales, el consumo energético, los residuos y los riesgos de fugas o derrames. Estas presiones justifican el seguimiento de la calidad del aire, agua, sedimentos, suelo y ecosistemas próximos, pero no demuestran por sí mismas la existencia de contaminación permanente en toda la terminal.

Medidas documentadas y resultados reportados. La información debe dividirse en tres categorías. En primer lugar, Contecon reporta certificaciones y reconocimientos como carbono

neutro, obtenida inicialmente en 2018, ISO 14001 y Punto Verde. Estas acreditaciones documentan la existencia de procesos de gestión o verificación dentro del alcance evaluado, pero no sustituyen la medición continua del desempeño ambiental.

En segundo lugar, entre las medidas implementadas por el operador se mencionan la electrificación de grúas, el reemplazo de sistemas energéticos, el uso de luminarias LED, la reutilización de desechos orgánicos y la operación de una planta para tratar aguas residuales domésticas (Contecon Guayaquil S. A., s. f.-a, s. f.-b).

En tercer lugar, como resultados reportados, la empresa señala que conserva 25 hectáreas de manglar y afirma que esa superficie compensaría más del 200 % de sus emisiones de CO₂ (Contecon Guayaquil S. A., s. f.-b). Esta afirmación procede del operador y debe interpretarse dentro de los límites y la metodología de compensación utilizados, los cuales no se encuentran desarrollados en la página consultada.

Indicadores reportados. Los datos cuantitativos identificados son el año de obtención inicial de la certificación de carbono neutro y las 25 hectáreas de manglar reportadas. Las fuentes consultadas no presentan una serie pública completa de emisiones totales en t CO₂e/año, intensidad en kg CO₂e/TEU, consumo energético en kWh/TEU, calidad del agua, ruido, residuos generados o porcentaje de residuos valorizados.

Fuente y nivel de evidencia. La evidencia es de nivel medio para comprobar la existencia de certificaciones y medidas, debido a que procede directamente del operador. La certificación de carbono neutro puede constituir evidencia más sólida dentro de su alcance específico cuando se dispone del informe de verificación, el inventario, el año base y la metodología aplicada. Sin embargo, estos documentos completos no se encuentran disponibles en las páginas institucionales consultadas.

Limitaciones de la información. No se identificaron series históricas comparables ni bases de datos que permitan conocer la evolución anual de las emisiones, el consumo de agua, la calidad ambiental, los residuos o el ruido. Tampoco se detallan los límites organizacionales del inventario de carbono ni la proporción reducida directamente frente a la compensada. Por esta razón, las certificaciones no deben presentarse como prueba suficiente de sostenibilidad integral.

Lección aprendida. Las certificaciones pueden ordenar los sistemas de gestión y favorecer la implementación de medidas ambientales. No obstante, la valoración del desempeño exige acompañarlas con indicadores absolutos y de intensidad, metodologías transparentes y series históricas verificables.

2.12.2. Puerto del Callao, Perú

Ubicación y características operativas. El Puerto del Callao se encuentra en la costa central del Perú, dentro de una zona urbana, industrial y logística de elevada actividad. Entre sus principales instalaciones se encuentran el Terminal Norte Multipropósito, operado por APM Terminals Callao, y el Terminal Sur de contenedores, operado por DP World. Debido a esta estructura concesionada, las medidas ejecutadas por un operador no deben atribuirse automáticamente a todo el puerto.

Presiones ambientales. Las operaciones de buques, grúas, camiones, trenes y equipos de manipulación generan emisiones atmosféricas, ruido, vibraciones, consumo energético y residuos. El dragado, la ampliación de infraestructura y el manejo de cargas también requieren vigilancia del agua de mar, los sedimentos, el suelo y la fauna. La proximidad de zonas pobladas añade la necesidad de controlar el tráfico terrestre, el material particulado y las molestias acústicas.

Medidas documentadas y resultados reportados. En el Terminal Norte Multipropósito, APM Terminals informa sobre la realización de monitoreos participativos y mecanismos para involucrar a la comunidad en el seguimiento de la gestión ambiental (APM Terminals Callao, s. f.). De manera separada, la Autoridad Portuaria Nacional ha publicado reportes con resultados de muestreo y análisis de calidad del aire, agua de mar y sedimentos en el área de influencia del Terminal Portuario del Callao (Autoridad Portuaria Nacional [APN], 2023). Estos reportes de la autoridad no deben confundirse con una medida exclusiva de APM Terminals.

En el Terminal Sur, DP World informa que el Muelle Bicentenario incorporó tres grúas de muelle, doce grúas de patio y veinte camiones internos completamente eléctricos, además de una estación de carga para esta flota (DP World, s. f.). La página institucional también proporciona acceso a estudios de impacto y documentos de seguimiento ambiental. La electrificación constituye una medida dirigida a reducir el uso directo de combustibles en los equipos reemplazados, pero no permite determinar el resultado climático sin comparar el consumo y las emisiones antes y después de su implementación.

Indicadores reportados. DP World reporta 35 equipos eléctricos: tres grúas de muelle, doce grúas de patio y veinte camiones internos. También informa la existencia de una estación de carga. La APN documenta la realización de monitoreos de aire, agua de mar y sedimentos en el área portuaria. Sin embargo, las páginas institucionales examinadas no presentan una serie consolidada y común para ambos concesionarios sobre t CO₂e/año, kg CO₂e/TEU, consumo energético, emisiones de NO_x, SO_x y material particulado, residuos o niveles de ruido.

Fuente y nivel de evidencia. La evidencia es alta para comprobar la existencia de los monitoreos efectuados por la APN, porque procede de una autoridad pública y de reportes técnicos. La evidencia es media para las medidas de APM Terminals y DP World, puesto que la cantidad

de equipos y las acciones implementadas son informadas por los propios operadores. Estos datos permiten constatar la medida, pero no demostrar de forma independiente la magnitud de la mejora ambiental.

Limitaciones de la información. Los documentos consultados no utilizan un sistema unificado de indicadores para los diferentes concesionarios. Tampoco se dispone de una línea base común que permita conocer la reducción atribuible a la electrificación ni separar las emisiones de los equipos portuarios, los buques y el transporte externo. Esta fragmentación impide valorar todo el Puerto del Callao mediante una medida desarrollada en una sola terminal.

Lección aprendida. La estructura concesionada exige identificar claramente al responsable de cada intervención. La comparación ambiental del puerto requiere que la autoridad y los operadores utilicen límites, años base, unidades y metodologías compatibles.

2.12.3. Puerto de Santos, Brasil

Ubicación y características operativas, el Puerto de Santos se encuentra en el litoral del estado de São Paulo, dentro del sistema estuarino comprendido entre Santos y Guarujá. Es un complejo multipropósito que moviliza contenedores, graneles sólidos, graneles líquidos y carga general. Según la Autoridade Portuária de Santos, durante 2023 movilizó aproximadamente 173 millones de toneladas de carga y 5 millones de TEU (Autoridade Portuária de Santos, s. f.-a).

Presiones ambientales. La magnitud y variedad de las operaciones generan presiones vinculadas con emisiones atmosféricas, polvo, ruido, vibraciones, efluentes, residuos y posibles fugas de hidrocarburos o sustancias químicas. La ubicación estuarina también vuelve relevantes el dragado, la calidad del agua y los sedimentos, las especies exóticas, la biota acuática y la

conservación de los ecosistemas. Las lluvias, inundaciones, vientos y temperaturas extremas pueden producir interrupciones y daños en la infraestructura.

Medidas documentadas y resultados reportados. La autoridad portuaria mantiene programas de monitoreo de agua, sedimentos, biota acuática, dragado, ruido, vibraciones, efluentes, calidad del aire, especies exóticas y áreas contaminadas. El programa de ruido contempla 23 puntos de muestreo alrededor del perímetro portuario, mientras que el de vibraciones utiliza diez puntos, incluidos edificios sensibles e históricos (Autoridade Portuária de Santos, s. f.-b).

La norma NAP.SUMAS.GCO.001.2023 obliga a los actores del puerto organizado a entregar información ambiental con periodicidades determinadas. Entre sus disposiciones se encuentran inventarios anuales de emisiones atmosféricas y gases de efecto invernadero, inventarios mensuales, trimestrales o anuales de residuos según la corriente, informes mensuales sobre efluentes y registros mensuales de interrupciones relacionadas con eventos climáticos. También exige estudios y mapas de riesgos climáticos actualizados cada cinco años (Autoridade Portuária de Santos, 2023).

Indicadores reportados. Las fuentes documentan 23 puntos para el monitoreo del ruido, diez puntos para vibraciones, inventarios anuales de emisiones, registros mensuales de interrupciones climáticas y estudios de riesgo climático con actualización cada cinco años. Los 173 millones de toneladas y 5 millones de TEU movilizados en 2023 pueden utilizarse como denominadores para calcular indicadores de intensidad, siempre que los datos ambientales correspondan al mismo año y alcance operativo.

Fuente y nivel de evidencia. La evidencia es alta para demostrar la existencia de obligaciones de reporte, debido a que estas constan en una norma emitida por la autoridad

portuaria. También es alta para identificar los programas oficiales y sus frecuencias. No obstante, la evidencia disponible es insuficiente para afirmar una mejora ambiental general si no se analizan los valores reportados, sus tendencias y el cumplimiento de las metas.

Limitaciones de la información. La existencia de programas, inventarios y obligaciones no permite conocer automáticamente si las concentraciones, emisiones o residuos disminuyeron. Para esa valoración se necesitan series de resultados, líneas base, metas, porcentajes de cumplimiento y datos comparables entre terminales. Además, debe distinguirse la información correspondiente a la Autoridad Portuaria de aquella generada por los operadores y terminales privados.

Lección aprendida. El caso muestra la utilidad de convertir el seguimiento ambiental en una obligación periódica y estandarizada. Este mecanismo fortalece la disponibilidad de información y la fiscalización, pero su efectividad debe comprobarse mediante la evolución de los indicadores y no solamente por la presentación de reportes.

2.13. Comparación de los principales problemas ambientales portuarios

La comparación ambiental entre puertos requiere utilizar parámetros medibles y reconocer las diferencias existentes en su tamaño, tipo de carga, estructura administrativa y ubicación. Las cifras absolutas muestran la magnitud del impacto, mientras que los indicadores de intensidad permiten relacionarlo con la actividad desarrollada. Ambos enfoques deben emplearse conjuntamente, porque una disminución relativa puede coincidir con un aumento del impacto total cuando crece el volumen de carga.

2.13.1. Comparación de los principales problemas ambientales

Los impactos portuarios se encuentran relacionados. Una fuga puede contaminar el suelo, alcanzar el drenaje y terminar en el agua; del mismo modo, un motor diésel produce contaminantes

atmosféricos locales y gases de efecto invernadero. Por esta razón, la prevención, el monitoreo y la respuesta no deben organizarse como actividades aisladas.

Tabla 2.

Comparación de los principales problemas ambientales portuarios

Problema	Fuentes portuarias principales	Consecuencias	Prevención y mitigación	Indicadores recomendados
Contaminación atmosférica	Buques, camiones, locomotoras, grúas y manejo de graneles	Deterioro del aire y exposición de trabajadores y comunidades	Electrificación, combustibles con menor contenido de azufre, mantenimiento y control de polvo	t NO _x /año, t SO _x /año, t PM/año y concentraciones en µg/m ³
Emisiones de GEI	Combustión en buques, vehículos y equipos; consumo de electricidad	Contribución al cambio climático	Inventarios, eficiencia energética, electricidad renovable y equipos eléctricos	t CO ₂ e/año, kg CO ₂ e/TEU o kg CO ₂ e/t de carga
Ruido y vibraciones	Motores, grúas, bocinas, trenes, camiones y obras	Molestias, alteración del descanso, exposición laboral y afectación de fauna	Barreras, aislamiento, mantenimiento, horarios y electrificación	dB(A) diurno/nocturno, exposición laboral y dB re 1 µPa para ruido submarino
Derrames de hidrocarburos	Abastecimiento, tuberías, mangueras, tanques y accidentes	Contaminación del agua, sedimentos, suelo y fauna	Inspecciones, contención secundaria, barreras y simulacros	Número de derrames, volumen derramado, tiempo de respuesta y superficie afectada
Residuos peligrosos	Talleres, aceites usados, baterías, pinturas y solventes	Toxicidad, incendios y contaminación del suelo o agua	Separación, etiquetado, almacenamiento y trazabilidad	kg/TEU o kg/t de carga; porcentaje tratado, valorizado y dispuesto
Aguas de lastre	Descarga de agua y sedimentos de los buques	Introducción de organismos acuáticos invasores	Planes, registros, certificados, inspección y tratamiento	Porcentaje de buques inspeccionados y porcentaje de cumplimiento

Residuos de buques	Mezclas oleosas, sustancias líquidas nocivas, aguas sucias y basuras	Contaminación marina y riesgos sanitarios	Instalaciones de recepción, registro y entrega a gestores	m ³ o t recibidas por año y porcentaje gestionado en instalaciones portuarias
Contaminación del suelo	Fugas, talleres, patios y almacenamiento de sustancias	Infiltración, afectación de aguas subterráneas y pasivos ambientales	Impermeabilización, drenaje controlado, inspección y remediación	Superficie contaminada en m ² o ha y porcentaje de áreas remediadas
Calidad del agua	Dragado, escorrentía, efluentes y derrames	Turbidez, reducción de oxígeno y presencia de contaminantes	Tratamiento de efluentes, control de escorrentía y monitoreo	pH, mg/L de oxígeno, DBO ₅ y DQO, NTU y µg/L o mg/L de contaminantes

Nota. Las unidades deben adaptarse al tipo de terminal y a la normativa nacional. Los indicadores de intensidad solo pueden compararse cuando utilizan el mismo alcance, periodo, metodología y denominador.

La tabla muestra que no todos los problemas requieren la misma respuesta. Las emisiones pueden reducirse mediante cambios tecnológicos, mientras que los derrames demandan prevención y capacidad inmediata de contención. La calidad del agua, el ruido, el suelo y la biodiversidad necesitan seguimiento sostenido para reconocer tendencias y diferenciar variaciones naturales de alteraciones relacionadas con la operación.

2.13.2. Indicadores ambientales comparables

Los indicadores comparables permiten pasar de la descripción de medidas a la evaluación del desempeño. Su utilización exige definir el periodo analizado, las instalaciones incluidas, las fuentes contabilizadas, el método de cálculo y la unidad operacional utilizada como denominador. Sin esta información, dos cifras aparentemente iguales pueden representar realidades diferentes.

Tabla 3.

Indicadores comparables para evaluar el desempeño ambiental portuario

Dimensión	Indicador	Unidad	Cálculo o criterio	Precaución para su comparación
-----------	-----------	--------	--------------------	--------------------------------

Cambio climático	Emisiones totales de GEI	t CO ₂ e/año	Suma de emisiones incluidas en el inventario	Deben declararse los alcances y fuentes contabilizadas.
Cambio climático	Intensidad de emisiones	kg CO ₂ e/TEU o kg CO ₂ e/t	Emisiones totales ÷ carga movilizada	No comparar TEU con toneladas de carga sin conversión y justificación.
Energía	Intensidad energética	kWh/TEU o kWh/t	Energía consumida ÷ carga movilizada	Debe distinguirse electricidad de combustibles y energía renovable de no renovable.
Aire	Emisiones locales	t de NO _x , SO _x o PM/año	Masa anual emitida por las fuentes inventariadas	No equivale a la concentración respirada por la población.
Aire	Calidad del aire	µg/m ³	Concentración medida en puntos de monitoreo	Deben coincidir el contaminante, tiempo de promedio y método de medición.
Ruido	Nivel de ruido ambiental	dB(A)	Nivel equivalente registrado durante periodos definidos	Separar mediciones diurnas, nocturnas, laborales y submarinas.
Agua	Consumo específico	m ³ /TEU o m ³ /t	Agua consumida ÷ carga movilizada	No debe confundirse con los indicadores de calidad del agua.
Agua	Calidad fisico-química	pH, mg/L, µg/L o NTU	Resultado analítico de cada parámetro	Comparar puntos, profundidades, mareas y métodos equivalentes.
Residuos	Intensidad de generación	kg/TEU o kg/t	Masa generada ÷ carga movilizada	Una reducción puede deberse a subregistro o cambios de clasificación.
Residuos	Valorización	%	Residuos valorizados ÷ residuos generados × 100	Debe precisarse qué procesos se consideran valorización.
Residuos MARPOL	Recepción portuaria	%	Cantidad recibida ÷ cantidad notificada para entrega × 100	Calcular por separado para cada anexo y corriente.
Derrames	Frecuencia y magnitud	Número/año y L, m ³ o t	Registro anual de eventos y volumen liberado	Incluir fugas pequeñas y definir el umbral de notificación.
Derrames	Tiempo de respuesta	Minutos u horas	Tiempo entre detección y primera contención efectiva	Debe emplearse el mismo momento inicial y final.
Aguas de lastre	Cobertura de inspección	%	Buques inspeccionados ÷ arribos sujetos a control × 100	El denominador debe excluir los buques no sujetos al control.
Aguas de lastre	Cumplimiento	%	Buques conformes ÷ buques inspeccionados × 100	Deben especificarse los criterios utilizados para declarar conformidad.
Adaptación climática	Interrupción operativa	Horas/año	Suma del tiempo detenido por eventos climáticos	Debe relacionarse con la intensidad y frecuencia de los eventos.
Adaptación climática	Cobertura de evaluación	%	Activos críticos evaluados ÷ activos críticos identificados × 100	Requiere un inventario actualizado de infraestructura crítica.

Nota. TEU significa unidad equivalente a veinte pies. En terminales de graneles o carga general se recomienda utilizar toneladas de carga. Los indicadores absolutos y relativos deben presentarse conjuntamente para evitar interpretaciones incompletas.

La aplicación de estos indicadores permitiría comparar la evolución de un puerto a través del tiempo y, con mayores precauciones, contrastar terminales con operaciones semejantes. No obstante, un valor aislado no demuestra sostenibilidad. La evaluación debe considerar tendencias, metas, cumplimiento normativo, impactos sobre las comunidades y calidad de la información.

2.14. Conclusión

El análisis realizado demuestra que la problemática ambiental de los puertos latinoamericanos no puede reducirse a un solo tipo de contaminación. Las emisiones atmosféricas, los gases de efecto invernadero, el ruido, los derrames de hidrocarburos, los residuos peligrosos y MARPOL, las aguas de lastre, la contaminación del suelo, el deterioro de la calidad del agua y los riesgos climáticos forman parte de un sistema de impactos relacionados. Una fuga, por ejemplo, puede afectar simultáneamente el suelo, el drenaje, los sedimentos y el agua; de igual manera, el funcionamiento de motores diésel genera contaminantes atmosféricos locales y emisiones que contribuyen al cambio climático.

Los instrumentos internacionales, entre ellos los anexos del Convenio MARPOL, el Convenio OPRC, el Convenio BWM y el Convenio de Basilea, proporcionan un marco para prevenir y controlar varios de estos problemas. Sin embargo, el cumplimiento normativo debe complementarse con medidas operativas dentro de cada puerto, como la electrificación de equipos, el control del polvo, la recepción diferenciada de residuos, la trazabilidad de materiales peligrosos, el tratamiento de aguas, la inspección de los buques, los planes de respuesta ante derrames y la evaluación de riesgos climáticos.

Los casos de Guayaquil, Callao y Santos muestran la incorporación de certificaciones, sistemas de monitoreo, equipos eléctricos, programas ambientales y obligaciones periódicas de reporte. Estas acciones representan avances o medidas asociadas con la transición ambiental, pero no constituyen por sí mismas pruebas suficientes de sostenibilidad. La existencia de una certificación, una flota eléctrica, iluminación LED o un programa de seguimiento debe distinguirse de los resultados ambientales efectivamente alcanzados. Además, cuando la información procede de los operadores, corresponde presentarla como un resultado reportado y señalar las limitaciones de su verificación.

La principal dificultad identificada es la falta de indicadores públicos, uniformes y comparables. Para evaluar el desempeño es necesario combinar valores absolutos, como las toneladas de CO₂e emitidas o el volumen anual de residuos, con indicadores de intensidad, como kg CO₂e/TEU, kWh/TEU, m³ de agua/TEU o kg de residuos por tonelada de carga. También deben emplearse indicadores específicos para la calidad del aire, el ruido, los derrames, las aguas de lastre, la calidad del agua y la adaptación climática. Estas cifras solo pueden compararse cuando utilizan el mismo periodo, alcance operativo, metodología y denominador.

La revisión documental también permitió reconocer diferencias en la disponibilidad y calidad de la información. Mientras algunos puertos cuentan con normas, informes técnicos y frecuencias de monitoreo definidas, otros publican principalmente descripciones de medidas o certificaciones sin presentar líneas base, series históricas o resultados completos. Esta limitación impide establecer una clasificación definitiva de los puertos estudiados y confirma la necesidad de fortalecer la transparencia y la verificación independiente.

Bibliografia

- Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2023). *Estudo de descarbonização dos portos: Diagnóstico. Produto 6: Guia de recomendações*. https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antag-1/GIZAL23A_240429_P6_Guia_de_Recomendacoes_V8.0.pdf/@download/file
- Aita, D. (2023). Los puertos de América Latina y el Caribe y el riesgo climático: Impactos en su infraestructura y posibles medidas de adaptación. *Boletín FAL*, (397), 1–20. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/97ee0fad-8154-488f-9c0f-2704116cb5c1/content>
- APM Terminals Callao. (s. f.). *Responsabilidad social*. <https://www.apmterminals.com/es/callao/about/csr>
- Autoridad Portuaria Nacional. (2023, 3 de marzo). *Reportes de calidad ambiental del año 2022*. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/apn/informes-publicaciones/3969722-reportes-de-calidad-ambiental-del-ano-2022>
- Autoridade Portuária de Santos. (s. f.-a). *About us*. <https://www.portodesantos.com.br/en/about-us/>
- Autoridade Portuária de Santos. (s. f.-b). *Estudos e programas*. <https://www.portodesantos.com.br/comunidade-sustentabilidade/sustentabilidade/estudos-prgramas/>
- Autoridade Portuária de Santos. (2023). *Norma para o reporte periódico de informações de interesse da fiscalização ambiental, de saúde e segurança do trabalho portuário*:

NAP.SUMAS.GCO.001.2023.

https://intranet.portodesantos.com.br/docs_codesp/doc_codesp_pdf_site.asp?id=146542

Autoridade Portuária de Santos S. A. (2025, 15 de diciembre). *Obter autorização para retirada de resíduos de embarcação (APS S.A.)*. Governo do Brasil. <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-autorizacao-para-retirada-de-residuos-de-embarcacao-aps-sa>

Cámara Marítima del Ecuador. (s. f.). *Autoridad Portuaria de Guayaquil—APG*. <https://www.camae.org/puerto/autoridad-portuaria-de-guayaquil-apg/>

Chuquín, R. (2022, 15 de febrero). *Derrame en La Pampilla: A un mes del desastre, lo único tangible es el petróleo en el mar*. Convoca. <https://convoca.pe/agenda-propia/derrame-en-la-pampilla-un-mes-del-desastre-lo-unico-tangible-es-el-petroleo-en-el-mar>

Companhia Docas do Rio de Janeiro. (2026, 27 de marzo). *Solicitar autorização como empresa coletora de resíduos de embarcações, atracadas ou fundeadas em área sob a jurisdição da PortosRio*. Governo do Brasil. <https://www.gov.br/pt-br/servicos/solicitar-para-atuar-como-empresa-coletora-de-residuos-de-embarcacoes>

Confluencia Portuaria. (2025, 5 de octubre). *La gestión de residuos portuarios exige trazabilidad, control y voluntad política*. <https://confluenciaportuaria.com.ar/medio-ambiente/la-gestion-de-residuos-portuarios-exige-trazabilidad-control-y-voluntad-politica/>

Contecon Guayaquil S. A. (s. f.-a). *Certificaciones*. <https://www.cgsa.com.ec/certificaciones/>

Contecon Guayaquil S. A. (s. f.-b). *Nuestro compromiso*. <https://www.cgsa.com.ec/about/>

Dirección General Marítima. (2022, 24 de noviembre). *En Santa Marta la Dimar intensifica monitoreo de aguas de lastre de buques para prevenir contaminación al medio marino*.

- <https://www.dimar.mil.co/en-santa-marta-la-dimar-intensifica-monitoreo-de-aguas-de-lastre-de-buques-para-prevenir>
- DP World. (s. f.). *Muelle Bicentenario*. <https://www.dpworld.com/es-pe/ports-terminals/peru/callao/muelle-bicentenario>
- Facey, J. (s. f.). *4 medidas para reducir las emisiones de CO₂ en el transporte de mercancías*. Kensa Logistics. <https://www.kensalogistics.com/4-medidas-emisiones-CO2-transporte-mercancias>
- Fredianelli, L., Gaggero, T., Bolognese, M., Borelli, D., Fidecaro, F., Schenone, C., & Licitra, G. (2022). Source characterization guidelines for noise mapping of port areas. *Heliyon*, 8(3), e09021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09021>
- Fundación Valenciaport. (2021). *Puertos inteligentes: Estrategia de desarrollo para el Puerto del Callao* (K. Lucenti, Ed.; Nota técnica del BID N.º 2351). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0003806>
- International Finance Corporation. (2017). *Environmental, health, and safety guidelines for ports, harbors, and terminals*. World Bank Group. <https://www.ifc.org/en/insights-reports/2017/publications-policy-ehs-portsharborsterminals>
- International Organization for Standardization. (2026). *ISO 14001:2026 Environmental management systems—Requirements with guidance for use*. <https://www.iso.org/standard/14001>
- Loctier, D. (2023, 27 de junio). *La contaminación acústica del ser humano afecta catastróficamente al ambiente marino*. Euronews. <https://es.euronews.com/2023/06/27/la-contaminacion-acustica-del-ser-humano-afecta-catastroficamente-al-ambiente-marino>

- Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. (2017, 26 de abril). *Ibama concede primeira licença de operação do Porto de Santos*. Governo do Brasil. <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/ibama-concede-primeira-licenca-de-operacao-do-porto-de-santos>
- MundoMarítimo. (2021, 14 de junio). *Cambio climático: La creciente amenaza contra los puertos, el comercio y el desarrollo sostenible*. <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/cambio-climatico-la-creciente-amenaza-contralos-puertos-el-comercio-y-el-desarrollo-sostenible>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2022). *Evaluación ambiental de seguimiento del derrame de petróleo crudo ocurrido en el Terminal Multiboyas N.º 2 de la Refinería La Pampilla* (Reporte N.º 00016-2022-OEFA/DEAM-STEC). <https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstreams/d36d0e8c-ad36-4580-a6b2-f89c40204f59/download>
- Organización Marítima Internacional. (s. f.-a). *Climate action and clean air in shipping*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Decarbonization%20and%20clean%20air%20in%20shipping.aspx>
- Organización Marítima Internacional. (s. f.-b). *International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation*. <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Oil-Pollution-Preparedness%2C-Response-and-Co-operation-%28OPRC%29.aspx>
- Organización Marítima Internacional. (s. f.-c). *MARPOL Annex I—Prevention of pollution by oil*. <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/oilpollution-default.aspx>

Organización Marítima Internacional. (1973). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*.

<https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-%28marpol%29.aspx>

Organización Marítima Internacional. (2004). *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM)*.

<https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-control-and-management-of-ships%27-ballast-water-and-sediments-%28bwm%29.aspx>

Organización Marítima Internacional. (2023). *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*.

<https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx>

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*. Oficina Regional para Europa.

<https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>

PortalPortuario. (2025, 22 de abril). *Ecuador: Terminal Portuario de Guayaquil consigue neutralidad de carbono*.

<https://portalportuario.cl/ecuador-terminal-portuario-de-guayaquil-consigue-neutralidad-de-carbono/>

Porto de Suape. (2019, 3 de junio). *Porto de Suape lança primeiro Boletim da Qualidade Ambiental*.

<https://www.suape.pe.gov.br/pt/noticias/1255-porto-de-suape-lanca-primeiro-boletim-da-qualidade-ambiental>

Quintero Rendón, L. A., Agudelo, E. A., Quintana Hernández, Y. A., Cardona Gallo, S. A., &

Osorio Arias, A. F. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua,

- sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Gestión y Ambiente*, 13(3), 51–64. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169419996004>
- Rosales-Chapula, D. A., Ortega-Ortiz, C. D., Llamas-González, M., Olivos-Ortiz, A., Torres-Orozco, E., Leon-Lopez, B., & Romero-Vivas, E. (2022). Underwater vessel noise in a commercial and tourist bay complex in the Mexican Central Pacific. *Ciencias Marinas*, 48(1), e3214. <https://doi.org/10.7773/cm.y2022.3214>
- Sánchez, R. J., Jaimurzina, A., Wilmsmeier, G., Pérez Salas, G., Doerr, O., & Pinto, F. (2015). *Transporte marítimo y puertos: Desafíos y oportunidades en busca de un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe* (Serie Recursos Naturales e Infraestructura N.º 176, LC/L.4119). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5b673d5d-0b52-4e67-80c1-8bdef7233ad4/content>
- Secretaría del Convenio de Basilea. (2025). *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal: Text and annexes*. <https://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?e=UNEP-CHW-IMPL-CONVTEXT-2025.English.pdf>
- SINC. (2018, 11 de mayo). *¿Cuántas emisiones contaminantes aporta el transporte marítimo?* <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Cuántas-emisiones-contaminantes-aporta-el-transporte-maritimo>
- Villa Caro, R. (2017, 31 de octubre). *Especies invasoras en el agua de lastre finiquitan el berberecho gallego*. Exponav. <https://exponav.org/blog/puertos-y-buques/especies-invasoras-en-el-agua-de-lastre-finiquitan-el-berberecho-gallego/>

World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A corporate accounting and reporting standard* (Rev. ed.).
<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

CAPITULO 3

Descarbonización en la logística portuaria

Cabanilla García Paola

Alcívar Quinto Kelly

Holguín Tomalá Diego

Icaza Paredes Ginger

Resumen

El presente trabajo aborda la descarbonización de la logística portuaria como un requisito estratégico clave para mitigar la huella ambiental del comercio marítimo internacional y promover la sostenibilidad en la interfaz buque-puerto. El objetivo principal de la investigación es analizar cómo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la aplicación de tecnologías limpias, energías renovables y herramientas de gestión digital en los recintos portuarios. Para ello, se estructuró un marco conceptual enfocado en la medición de la huella de carbono según sus tres alcances (Alcance 1, 2 y 3), la elaboración de inventarios de emisiones y la evaluación de vectores energéticos sostenibles, tales como la electrificación de grúas de patio (e-RTG), el suministro de energía eléctrica a buques atracados (Onshore Power Supply / Cold Ironing), la autogeneración fotovoltaica, eólica y el uso de combustibles alternativos como el hidrógeno verde y el metanol. Asimismo, la metodología comprende el análisis comparativo de casos de estudio internacionales y regionales (Puerto de Los Ángeles, Puerto de Valencia, Puerto de Cartagena y la Terminal de Posorja/Guayaquil en Ecuador), examinando sus fuentes de emisión iniciales, tecnologías aplicadas y el impacto cuantitativo logrado en sus operaciones. Se concluye que la transición energética en los puertos no solo es técnicamente viable, sino que optimiza los costos operativos de mantenimiento y mejora la competitividad ambiental de la cadena agroexportadora y logística intermodal.

Abstract

This study addresses the decarbonization of port logistics as a critical strategic requirement to mitigate the environmental footprint of international maritime trade and foster sustainability within the ship-shore interface. The main objective of this research is to analyze methods for reducing greenhouse gas (GHG) emissions through the implementation of clean technologies, renewable energy sources, and digital management tools in port facilities. To achieve this, a conceptual framework was structured around carbon footprint measurement across its three scopes (Scope 1, 2, and 3), emissions inventory reporting, and the evaluation of sustainable energy vectors, such as crane electrification (e-RTG), Onshore Power Supply (OPS / Cold Ironing), photovoltaic and wind self-generation, and alternative fuels including green hydrogen and methanol. Furthermore, the methodology encompasses a comparative analysis of international and regional case studies (Port of Los Angeles, Port of Valencia, Port of Cartagena, and the Posorja/Guayaquil Terminal in Ecuador), examining their baseline emission sources, implemented technologies, and quantitative operational impacts. It is concluded that the energy transition in ports is not only technically feasible, but also optimizes maintenance operating costs and enhances the green competitiveness of agro-export and intermodal supply chains.

Introducción

En el contexto actual del comercio internacional, la logística portuaria constituye un pilar fundamental para el intercambio de mercancías globales, siendo responsable de mover más del ochenta por ciento del volumen global (UNCTAD, 2022). Sin embargo, este dinamismo operativo genera una elevada huella ambiental, convirtiendo a los nodos portuarios en puntos críticos de emisión de gases de efecto invernadero debido al funcionamiento ininterrumpido de buques y maquinaria pesada (IRENA, 2021).

Ante la creciente crisis climática global y los compromisos del Acuerdo de París, la transición hacia operaciones de bajas emisiones se consolidó como una prioridad estratégica irrenunciable. Este proceso abarca desde la identificación exhaustiva de fuentes contaminantes en muelle y patio, hasta el diseño de inventarios operacionales precisos orientados a la implementación paulatina de tecnologías limpias y esquemas eficientes dentro de las terminales marítimas (Fundación Valenport, 2023).

Entre las principales soluciones destacan la electrificación masiva de infraestructuras de patio, la conexión eléctrica a tierra conocida como Cold Ironing, la autogeneración con fuentes renovables como la energía solar, el desarrollo progresivo del hidrógeno verde, el uso de combustibles alternativos de bajo impacto y la digitalización aplicada a la optimización de los tiempos de espera en el transporte terrestre (CARB, 2020).

El análisis de experiencias reales demuestra que la sostenibilidad ambiental y la eficiencia operativa pueden coexistir armónicamente en el entorno portuario actual. Casos internacionales de vanguardia como los puertos de Los Ángeles, Valencia, Cartagena y Posorja en Ecuador aportan evidencia concreta sobre la viabilidad técnica y económica de estas tecnologías, marcando la hoja de ruta hacia la neutralidad de carbono (GPC, 2023).

OBJETIVOS

Objetivo General

Explicar cómo reducir la huella de carbono mediante tecnologías y estrategias sostenibles.

Objetivo Específicos

1. Identificar las principales fuentes de emisiones de carbono en las operaciones para determinar los procesos que requieren medidas de reducción
2. Analizar las tecnologías y estrategias sostenibles aplicadas en la logística para evaluar su contribución a la disminución de la huella de carbono
3. Describir las prácticas de descarbonización implementadas en las operaciones portuarias para comprender su impacto en la sostenibilidad y eficiencia logística

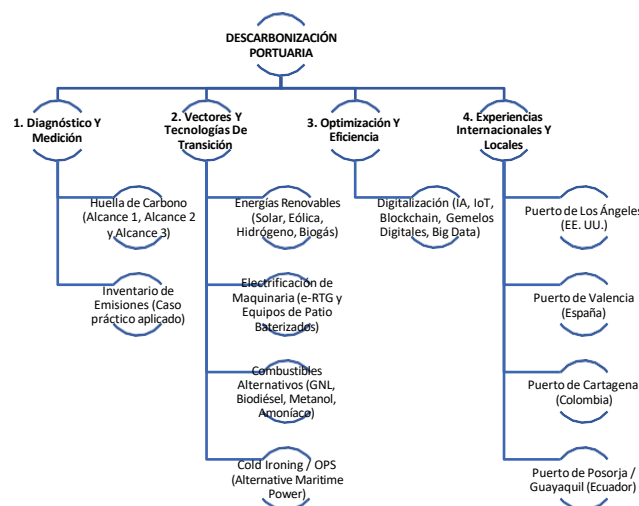
Marco Teórico

1. Descarbonizar

Un proceso mediante el cual se disminuyen las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero producidos por las actividades humanas, en el sector portuario, esto implica transformar las operaciones tradicionales para hacerlas más eficientes y menos dependientes de los combustibles fósiles, para lograr este objetivo, los puertos están incorporando diversas estrategias, como la electrificación de grúas y equipos de manipulación de carga, el uso de combustibles alternativos, entre ellos el hidrógeno verde, el metanol y los biocombustibles, así como la optimización de los procesos logísticos mediante herramientas digitales, además, muchos puertos han comenzado a implementar sistemas que permiten a los buques conectarse a la red eléctrica terrestre mientras permanecen atracados, evitando que mantengan encendidos sus motores auxiliares (OMI, 2023).

Figura 1

Esquema General Del Capítulo 3: Descarbonización De La Logística Portuaria



La descarbonización no solo representa un compromiso con el medio ambiente, sino también una oportunidad para mejorar la eficiencia energética, reducir costos operativos a largo plazo y cumplir con las normativas ambientales establecidas por organismos internacionales.

Para evitar confusiones conceptuales y delimitar el alcance del presente estudio, es indispensable diferenciar el concepto general de sostenibilidad portuaria respecto a las acciones específicas de descarbonización, las cuales suelen solaparse, pero responden a métricas y objetivos técnicos distintos:

Tabla 1

Diferenciación De Conceptos Clave En La Gestión Ambiental Portuaria

<i>Concepto / Dimensión</i>	<i>Definición Técnica</i>	<i>Enfoque Operativo</i>	<i>Ejemplo en el Entorno Portuario</i>
<i>Descarbonización / Reducción de CO₂ y GEI</i>	Reducción y eliminación progresiva de dióxido de carbono (CO ₂), metano (CH ₄) y óxido nitroso (N ₂ O).	Mitigación del calentamiento global a nivel planetario.	Sustitución de grúas RTG de diésel por e-RTGs electrificadas.
<i>Reducción de Contaminantes Atmosféricos</i>	Control de emisiones locales nocivas como óxidos de nitrógeno (NO _x), óxidos de azufre (SO _x) y material particulado (PM _{2.5} , PM ₁₀).	Protección de la salud pública y calidad del aire en comunidades aledañas.	Uso de sistemas de depuración de gases (<i>scrubbers</i>) o combustibles limpios en zona costera.
<i>Eficiencia Energética</i>	Optimización de procesos para minimizar el consumo energético por unidad de carga procesada.	Reducción de costos operativos e intensidades energéticas.	Automatización de flujos de camiones en patio para evitar consumo inútil en ralentí.
<i>Adaptación Climática</i>	Resiliencia e infraestructura preparada frente a los efectos físicos inevitables del cambio climático.	Gestión de riesgos físicos e infraestructura crítica.	Elevación del nivel de los muelles y protección costera ante el aumento del nivel del mar.
<i>Compensación de Carbono</i>	Neutralización de emisiones residuales no eliminables mediante mecanismos del mercado de carbono.	Mecanismo financiero de balance neto (último recurso).	Inversión de las terminales en proyectos de conservación de manglares local (<i>Blue Carbon</i>).

<i>Sostenibilidad Portuaria</i>	Enfoque integral que abarca la triple dimensión: ambiental, económica y social.	Gestión holística del desarrollo portuario a largo plazo.	Planes comunitarios, equidad laboral y programas de gestión de residuos de la mano del cuidado ambiental.
--	---	---	---

Nota. Adaptado de normas internacionales de sostenibilidad y descarbonización marítima (IMO, 2023; GHG Protocol, 2021).

Principio De Jerarquía Ambiental De Descarbonización

En la gestión ambiental portuaria, las estrategias de mitigación deben seguir una jerarquía de acción estricta y priorizada. La neutralidad de carbono no debe lograrse recurriendo de forma prematura o exclusiva a la compra de créditos de carbono, sino priorizando la transformación tecnológica directa en las operaciones.

La jerarquía técnica se estructura en cuatro niveles consecutivos:

- **Evitar:** Reducir la demanda inútil de energía y eliminar ineficiencias operativas (ej. evitar tiempos de espera y ralentí de camiones o buques mediante optimización digital).
- **Reducir:** Maximizar la eficiencia energética en las operaciones existentes (ej. hibridación de equipos, iluminación LED, sistemas de recuperación de energía en frenado de grúas).
- **Sustituir:** Reemplazar combustibles fósiles por fuentes de energía cero emisiones o de baja huella de carbono (ej. electrificación de grúas RTG/STS, uso de energía solar fotovoltaica, adopción de hidrógeno o electrificación a tierra/OPS).
- **Compensar (Emisiones Residuales):** Neutralizar únicamente aquellas emisiones inevitables o técnicamente imposibles de eliminar en el corto plazo mediante mecanismos acreditados del mercado de carbono (ej. créditos en proyectos de preservación de manglares / Blue Carbon).

2. Huella De Carbono (Alcance 1,2 y 3)

Un indicador que permite medir la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos como consecuencia de las actividades de una organización, generalmente, estas emisiones se expresan en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e), en este contexto, el Alcance 2 (Scope 2) hace referencia a las emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad, calefacción, refrigeración o vapor adquiridos por una organización, aunque estas emisiones no se generan directamente dentro de las instalaciones del puerto, son consecuencia del consumo energético necesario para desarrollar sus operaciones (GHG Protocol, 2015).

La medición en una terminal portuaria se estructura en tres alcances:

Tabla 2

Clasificación De Alcances De Emisión (Scopes) En El Ámbito Portuario

<i>Alcance</i>	<i>Fuente / Definición</i>	<i>Ejemplo Portuario</i>
<i>Alcance 1</i> <i>Emisiones Directas</i>	Emisiones provenientes de fuentes que son propiedad de la terminal portuaria o que están bajo su control operacional directo.	Quema de diésel en grúas RTG térmicas, tractores de terminal, montacargas, generadores de emergencia y embarcaciones operadas por el puerto.
<i>Alcance 2</i> <i>Emisiones Indirectas</i>	Emisiones asociadas a la generación de electricidad, calefacción o refrigeración adquirida y consumida por la terminal.	Electricidad consumida de la red nacional para alimentar grúas STS de muelle, iluminación de patios, oficinas y tomas para contenedores refrigerados (<i>reefers</i>).
<i>Alcance 3</i> <i>Otras Emisiones Indirectas</i>	Emisiones consecuencia de las actividades de la terminal, pero que ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por esta.	Buques portacontenedores en maniobra y fondeo, transporte terrestre externo (camiones de acarreo), ferrocarriles y servicios prestados por contratistas externos.

Nota. Adaptado del GHG Protocol Corporate Value Chain Standard e ISO 14064.

Nota metodológica sobre límites operacionales: La clasificación de las emisiones en el Alcance 3 (buques en atracó, camiones de acarreo y contratistas) responde al límite

organizacional del control operacional definido por el puerto según los estándares del GHG Protocol e ISO 14064, donde la autoridad portuaria no posee la propiedad de los activos ni el control operativo directo de las embarcaciones o vehículos externos.

3. Inventario De Emisiones

Un inventario de emisiones es un registro cuantificado y sistemático de las fuentes contaminantes en un periodo determinado. Es la herramienta diagnóstica indispensable para fijar metas de reducción y medir el impacto de las políticas ambientales.

Tabla 3

Ejemplo Práctico De Aplicación En Terminal

<i>Operación / Fuente en Puerto</i>	<i>Agente Operativo</i>	<i>Clasificación del Alcance</i>
<i>Combustible Diésel en Grúas RTG de Patio</i>	Puerto / Maquinaria propia	Alcance 1 (Directa)
<i>Consumo de Electricidad de la Red para Iluminación y Reefers</i>	Puerto / Red eléctrica pública	Alcance 2 (Indirecta)
<i>Tráfico y Ralentí de Camiones Externos en Accesos</i>	Transporte terrestre tercero	Alcance 3 (Indirecta)
<i>Motores Auxiliares de Buques Atracados en Muelle</i>	Línea naviera	Alcance 3 (Indirecta)

4. Energía Renovables En Puertos

Constituye uno de los pilares fundamentales para avanzar hacia una logística portuaria más sostenible, estas fuentes de energía permiten reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de carbono asociadas a las operaciones portuarias, entre las alternativas más utilizadas se encuentra la energía solar, obtenida mediante paneles fotovoltaicos instalados en techos de almacenes, edificios administrativos y otras infraestructuras portuarias.

Tabla 4

Cuadro Comparativo De Fuentes Renovables Portuarias

<i>Tecnología</i>	<i>Ventajas Principales</i>	<i>Limitaciones y Desafíos</i>
-------------------	-----------------------------	--------------------------------

<i>Solar Fotovoltaica</i>	Bajo costo operativo, aprovecha cubiertas de bodegas y techos operativos sin ocupar áreas de muelle.	Generación intermitente, depende de la radiación solar diaria y requiere almacenamiento.
<i>Eólica (Onshore/ Offshore)</i>	Alta capacidad de generación continuada en zonas costeras de alto viento.	Requiere gran espacio físico, alta inversión inicial y posible impacto en la navegación o fauna.
<i>Hidrógeno Verde</i>	Alta densidad energética, cero emisiones de GEI en punto de consumo (solo emite agua).	Elevado costo de producción (electrólisis) y complejidad en almacenamiento criogénico o a alta presión.
<i>Biogás/ Biometano</i>	Aprovecha residuos orgánicos y se integra a infraestructuras de gas existentes.	Capacidad de producción limitada para la gran escala de demanda portuaria.

Asimismo, algunos puertos aprovechan la energía eólica mediante aerogeneradores que producen electricidad limpia para abastecer parte de sus operaciones, otra alternativa con gran potencial es el hidrógeno verde, considerado un combustible del futuro debido a que se produce utilizando electricidad proveniente de fuentes renovables y no genera emisiones de carbono durante su utilización, este combustible puede emplearse tanto en maquinaria portuaria como en vehículos de transporte interno e incluso en embarcaciones (OMI, 2023).

Además, varios puertos han implementado sistemas de suministro eléctrico desde tierra para los buques atracados, permitiendo que apaguen sus motores auxiliares durante su permanencia en el puerto, esta medida reduce considerablemente las emisiones contaminantes, el ruido y mejora la calidad del aire en las zonas portuarias, la adopción de energías renovables no solo favorece la protección del medio ambiente, sino que también impulsa la innovación tecnológica y fortalece la competitividad de los puertos frente a los nuevos desafíos del comercio internacional.

5. Electrificación De Grúas

Consiste en la transición tecnológica mediante la cual las grúas de maniobra y transferencia de carga (como las grúas RTG, Rubber Tyred Gantry y STS, Ship to Shore)

reemplazan sus motores térmicos alimentados por diésel por sistemas accionados al 100% por energía eléctrica (e-RTG), conectándose a la red mediante barras conductoras o carretes de cable, esta medida en el entorno portuario se aplica directamente en los patios de contenedores y en los muelles de atracadero, al sustituir la combustión interna por alimentación eléctrica continua durante las operaciones de izaje, desplazamiento y posicionamiento de contenedores, se elimina el consumo directo de combustible fósil en el punto de trabajo (OMI, 2023).

Entre los principales beneficios de la electrificación de grúas destaca la eliminación directa de las emisiones de Alcance 1 en patio, una reducción sustancial de la contaminación acústica para los operadores y la comunidad circundante, así como una disminución considerable en los costos de mantenimiento mecánico y un mejor rendimiento energético por tonelada movilizada.

6. Equipos Eléctricos

La incorporación de equipos eléctricos en puertos hace referencia a la sustitución progresiva de la maquinaria móvil de patio tradicional alimentada por diésel por vehículos y equipos operados mediante sistemas de baterías recargables de ion-litio u otras tecnologías de cero emisiones, en la logística y operativa de las terminales, este grupo abarca vehículos de manipulación de carga como tractocamiones portuarios (terminal tractors), elevadores de contenedores (reach stackers), montacargas (forklifts) y carretillas pórtico (straddle carriers).

Estos equipos realizan los traslados internos de carga entre el muelle, las zonas de almacenamiento temporal y los accesos terrestres, el uso de equipos eléctricos en la flota portuaria permite erradicar los gases contaminantes generados por la quema de diésel durante las jornadas intensivas de trabajo, además, al combinarse con una matriz de carga proveniente de fuentes renovables, contribuye a disminuir la huella de carbono global de la terminal, optimizando la eficiencia operativa mediante una entrega de torque inmediato y una aceleración

más fluida.

7. Hidrógeno Verde

El hidrógeno verde no genera emisiones directas de CO₂ durante su utilización en una celda de combustible; sin embargo, su impacto climático global debe evaluarse considerando su ciclo de vida completo (Well-to-Wheel) y la fuente de electricidad empleada en su proceso de producción por electrólisis. (OMI, 2023).

En el sector portuario, el hidrógeno verde se plantea como una solución clave para alimentar maquinaria pesada y embarcaciones auxiliares (remolcadores, gabarras) cuya demanda de potencia o tiempo continuo de operación dificulta el uso exclusivo de baterías eléctricas convencionales debido al peso o los tiempos de recarga, su implementación como combustible o mediante celdas de combustible (fuel cells) permite lograr una descarbonización profunda en actividades de alta intensidad energética.

Asimismo, posiciona a los puertos no solo como consumidores de energía limpia, sino también como futuros nodos logísticos estratégicos para la recepción, almacenamiento y distribución de hidrógeno a escala regional e internacional.

8. Biocombustibles

Son combustibles líquidos o gaseosos producidos a partir de biomasa, materia orgánica vegetal o residuos aceitosos reutilizados, Entre los más empleados en el transporte y la maquinaria industrial se encuentran el biodiésel y el diésel renovable HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), los cuales actúan como sustitutos directos o parciales del diésel derivado del petróleo, dentro del ámbito portuario, los biocombustibles representan una medida de mitigación de transición inmediata o "de caída directa" (drop-in fuels), ya que pueden utilizarse en la flota existente de maquinaria de patio, generadores y embarcaciones sin necesidad de realizar modificaciones estructurales ni grandes inversiones en nuevos motores (GSP, 2015).

Esta alternativa ofrece una reducción potencial de emisiones de GEI en el ciclo de vida, dependiendo del tipo de biocombustible, la materia prima utilizada, el proceso de producción y la metodología de contabilización empleada.

9. Combustible Alternativo

Fuentes de energía que sustituyen a los combustibles fósiles tradicionales, como el diésel y el fuelóleo, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes atmosféricos, en el ámbito portuario, estos combustibles pueden utilizarse tanto en buques como en equipos portuarios (grúas, tractores de terminal, montacargas, reach stackers y otros vehículos de apoyo).

Los combustibles alternativos más utilizados o con mayor potencial son:

Tabla 5

Matriz Comparativa De Combustibles Alternativos

<i>Combustible</i>	<i>Nivel de Emisiones (CO₂/NO_x/SO_x)</i>	<i>Madurez Tecnológica</i>
<i>Gas Natural Licuado (GNL)</i>	Reducción media (20% CO ₂ , elimina, SO _x).	Alta (Infraestructura y buques operativos).
<i>Biodiésel / HVO</i>	Reducción baja a media en ciclo de vida neto.	Alta (Uso directo sin cambios de motor).
<i>Hidrógeno Verde</i>	Muy baja / Cero (Solo vapor de agua).	Media (Fase piloto y proyectos de escala).

<i>Metanol Verde</i>	Muy baja (Captura neutra de carbono).	Media - Alta (Creciente adopción en navieras).
<i>Amoníaco Verde</i>	Muy baja (CO ₂ , requiere control NO _x).	Baja (En desarrollo por toxicidad y manejo).

Cabe precisar que el Gas Natural Licuado (GNL) actúa como un combustible fósil de transición que reduce las emisiones locales de SO_x y NO_x, pero no constituye una solución definitiva de descarbonización profunda debido a sus emisiones residuales de carbono y al riesgo de fuga de metano en su ciclo de vida

10. Cold Ironing (Onshore Power Supply - OPS).

El **Cold Ironing** o **Onshore Power Supply (OPS)** es una tecnología que permite a los buques conectarse a la red eléctrica del puerto mientras permanecen atracados, evitando el uso de sus motores auxiliares para generar electricidad, esta práctica reduce significativamente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y material particulado, además de disminuir el ruido y mejorar la calidad del aire en las zonas portuarias.

Figura 2

Reducción De Emisiones



Nota. Elaboración propia a partir de la Organización Marítima Internacional (2020).

En el contexto de la descarbonización del sector marítimo-portuario, el Cold Ironing se ha convertido en una de las principales estrategias para que los puertos avancen hacia operaciones más sostenibles y cumplan con las metas internacionales de reducción de emisiones, permitiendo analizar el impacto ambiental, energético y económico de su implementación, entre los aspectos que pueden evaluarse se encuentran la reducción de la huella de carbono, el ahorro en el consumo de combustibles fósiles, la eficiencia energética, la viabilidad económica de la inversión y los beneficios para la competitividad del puerto.

11. Digitalización Para Disminuir Emisiones.

Consiste en la incorporación de tecnologías digitales en las operaciones portuarias con el objetivo de optimizar los procesos logísticos, mejorar la eficiencia operativa y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente dióxido de carbono (CO₂), en lugar de centrarse únicamente en el cambio de combustibles o equipos, esta estrategia busca reducir las emisiones mediante una gestión más eficiente de la información y de las operaciones.

Aplicación Concreta De Tecnologías Digitales

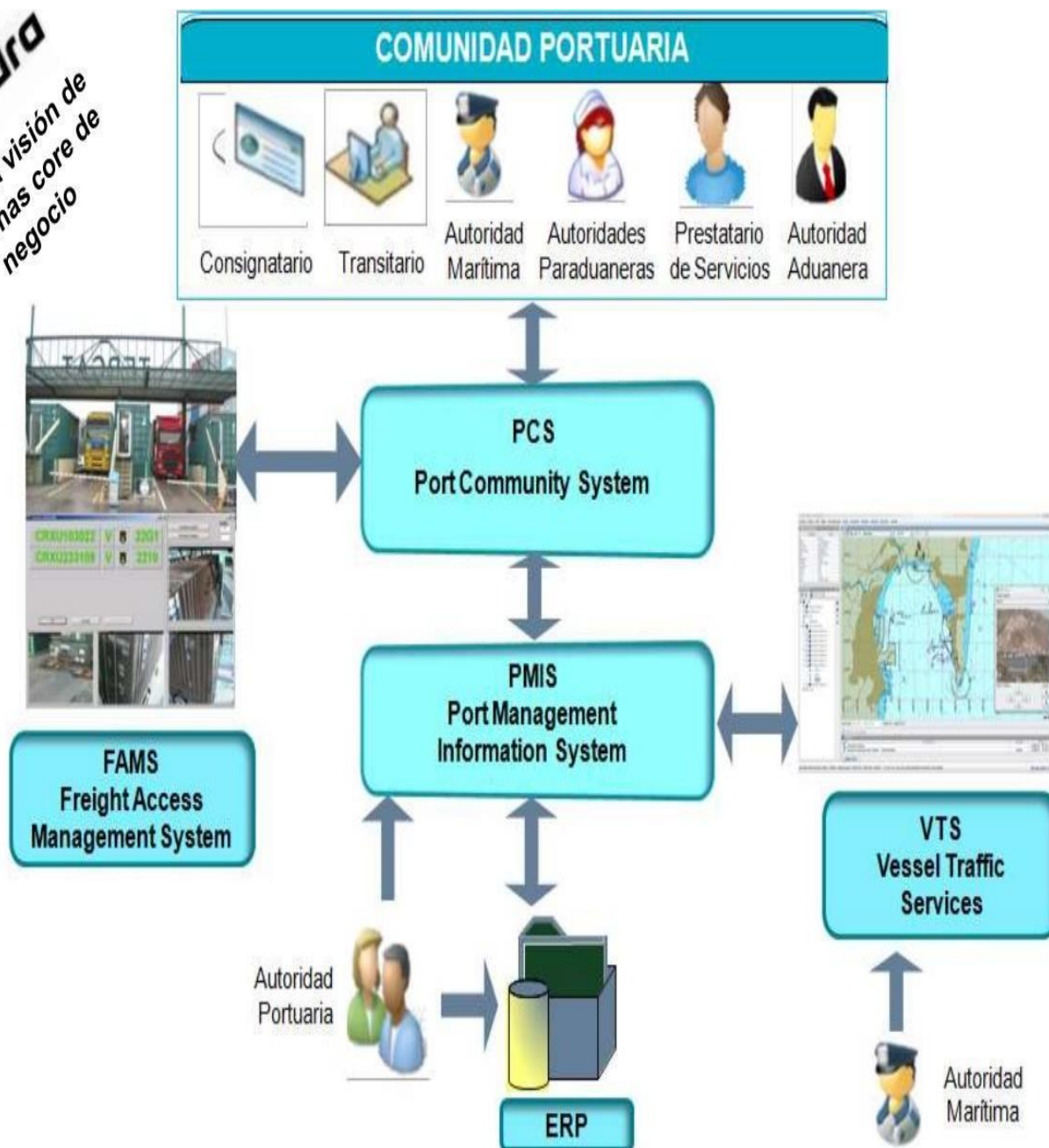
- **Inteligencia Artificial (IA):** Algoritmos de predicción para optimizar las rutas internas de los tractores de terminal y reducir el recorrido en vacío.
- **Internet de las Cosas (IoT):** Sensores e-Telematics en grúas y camiones para monitorear el consumo de combustible en tiempo real y detectar fallas de ralentí excesivo.
- **Blockchain:** Plataformas de trazabilidad segura que agilizan el intercambio documental aduanero, evitando que los camiones permanezcan encendidos esperando autorizaciones.
- **Gemelos Digitales (Digital Twins):** Modelación tridimensional en tiempo real del puerto para simular escenarios de tráfico, anticipar congestiones en los portones de acceso y sincronizar la llegada de buques.
- **Big Data:** Análisis masivo de datos a través de Port Community Systems (PCS) para gestionar la asignación de citas electrónicas de transporte terrestre.

Uno de los principales problemas en muchos puertos es la existencia de procesos manuales, demoras en la coordinación entre los actores de la cadena logística y una utilización ineficiente de los recursos, lo que incrementa el consumo energético y las emisiones contaminantes.

La digitalización permite mejorar la coordinación entre navieras, terminales, transportistas y autoridades portuarias, reduciendo tiempos improductivos y, en consecuencia, las emisiones asociadas.

Figura 3

Inversión En Tecnología: Aplicación De Las Tecnologías TIC - ITS: Sistemas CORE



Nota. Adaptado de Muñoz (2017).

Casos De Estudio De Descarbonización Portuaria

1. Caso De Estudio: Puerto De Los Ángeles (Estados Unidos)

El Puerto de Los Ángeles (POLA), ubicado en la Bahía de San Pedro en California, es el complejo portuario de mayor volumen de carga en Norteamérica y representa uno de los modelos pioneros en descarbonización a escala global. Ante el elevado volumen de operaciones comerciales con Asia y la exigente normativa ambiental del estado de California, el puerto estructuró una estrategia integral basada en la medición continua, la reconversión tecnológica y la regulación estricta.

Fuentes De Emisiones De Carbono Y Diagnóstico Inicial

De acuerdo con el inventario de emisiones publicado por la Autoridad Portuaria de Los Ángeles (POLA, 2023), las actividades logísticas del puerto se caracterizaban históricamente por un uso intensivo de combustibles fósiles derivados del petróleo. Las principales fuentes generadoras de gases de efecto invernadero (CO₂) y contaminantes atmosféricos locales se agrupan en cinco áreas clave:

Buques de Navegación Marítima (OGV): Durante la fase de atracado (hotelling), los buques portacontenedores mantenían encendidos sus motores auxiliares alimentados por diésel marino para generar la electricidad necesaria a bordo. Esto representaba la mayor fuente de dióxido de carbono y dióxido de azufre en la interfaz puerto-ciudad (Starcrest Consulting Group, 2023).

Transporte Terrestre de Acarreo (Drayage Trucks): Miles de camiones pesados de clase 8 circulan diariamente para conectar las terminales con los centros de distribución intermodales. Las congestiones en las puertas de acceso (gates) generaban prolongados tiempos de espera en ralentí (idling), emitiendo toneladas de material particulado diésel (DPM) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (POLA, 2023).

Equipos de Manipulación de Carga (CHE): La maquinaria interna de patio, compuesta por grúas sobre neumáticos (RTG), tractores de terminal (yard hustlers) y montacargas pesados, funcionaba mayoritariamente con motores térmicos diésel de operación continua.

Red Intermodal y Embarcaciones Auxiliares: Las locomotoras de maniobra dentro del recinto y los remolcadores de bahía completaban el perfil de emisiones operativas.

Tecnologías y Estrategias Sostenibles Aplicadas

Para mitigar este impacto, la Autoridad Portuaria, en coordinación con la Junta de Recursos del Aire de California (CARB, 2020), desplegó una serie de soluciones tecnológicas de vanguardia:

Sistemas de Conexión Eléctrica a Tierra (Alternative Maritime Power - AMP): El Puerto de Los Ángeles fue líder mundial en la instalación de infraestructura de conexión eléctrica terrestre (6.6 kV/ 11 kV). Esta tecnología permite a los buques atracados apagar completamente sus motores auxiliares y conectarse a la red eléctrica limpia de la ciudad, eliminando hasta un 95% de las emisiones contaminantes por embarcación mientras permanece amarrada (POLA, 2023).

Figura 4

Sistema De Conexión Eléctrica A Tierra (Cold Ironing) En El Puerto De Los Ángeles



Nota. Adaptado de Port of Los Angeles (2022).

Electrificación e Hidrógeno Verde en Equipos Terrestres: A través del programa de Tecnologías de Carga de Cero Emisiones (ZANZEFF), desarrollado junto a firmas automotrices como Toyota y Kenworth (2021), el puerto introdujo camiones pesados propulsados por celdas de combustible de hidrógeno (FCEV). Paralelamente, se inició la conversión masiva de grúas RTG diésel a versiones 100% eléctricas (e-RTGs) alimentadas por barras colectoras.

Digitalización para la Eficiencia Operativa (Port Optimizer): En alianza con Wabtec Corporation, el puerto implementó la plataforma digital Port Optimizer (2022). Este software de inteligencia logística unifica los datos de la cadena de suministro semanalmente, permitiendo a los transportistas programar citas de recogida precisas, lo que redujo los tiempos de espera de los camiones y el tiempo en ralentí entre un 20% y un 30%.

Prácticas E Impacto En La Sostenibilidad Logística

La columna vertebral de estas acciones es el Clean Air Action Plan (CAAP), desarrollado conjuntamente con el Puerto de Long Beach (POLA & POLB, 2017). Este plan estableció la meta obligatoria de alcanzar el 100% de equipos de terminal de cero emisiones para el año 2030 y una flota de camiones de acarreo 100% limpia para 2035. Para financiar esta transición, se implementó la tarifa Clean Truck Fund Rate, un mecanismo económico que cobra una tasa a los camiones contaminantes para subsidiar la compra de flotas eléctricas o de hidrógeno a los pequeños transportistas (CARB, 2020). Los reportes de auditoría ambiental confirman que, gracias a estas medidas, el Puerto de Los Ángeles ha logrado reducir más de un 45% sus emisiones de gases de efecto invernadero y más del 85% del material particulado diésel respecto a su línea base de 2005 (SCG, 2023).

2. Caso De Estudio: Puerto De Valencia (España)

El Puerto de Valencia, gestionado por la Autoridad Portuaria de Valencia (APV), es el principal puerto del Mar Mediterráneo en tráfico de contenedores y constituye el caso de estudio europeo de referencia en la integración de hidrógeno verde y energías renovables dentro del recinto portuario.

Fuentes De Emisiones De Carbono Y Diagnóstico Inicial

De acuerdo con la Declaración Ambiental de la Autoridad Portuaria de Valencia (APV, 2023), el puerto realizó una caracterización rigurosa de su huella de carbono, identificando que el consumo energético derivado de combustibles fósiles representaba el principal cuello de botella ambiental:

Emisiones Marítimas en Atraco: Los buques portacontenedores, cruceros y buques ro-ro (roll-on/roll-off) generaban un consumo masivo de diésel marino durante sus estancias en muelle para mantener activos los sistemas de refrigeración y climatización (APV, 2023).

Maquinaria Pesada de Terminal: La flota de apiladoras de contenedores (reachstackers) y tractores de terminal en las terminales concesionadas consumía grandes volúmenes de gasóleo diésel, siendo responsables de una fracción sustancial de las emisiones internas de la terminal (Fundación Valenciaport, 2022).

Tráfico Terrestre de Acceso: La alta densidad de camiones de transporte regional que ingresan a las terminales producía picos de contaminación por NO_x en el área metropolitana de Valencia.

Tecnologías Y Estrategias Sostenibles Aplicadas

El Puerto de Valencia se ha consolidado como un laboratorio de innovación tecnológica a través de proyectos cofinanciados por la Unión Europea:

Iniciativa de Hidrógeno Verde (Proyecto H2Ports): Coordinado por la Fundación Valenciaport (2023) en el marco del programa Horizon 2020, el puerto es el primero en Europa en probar maquinaria portuaria impulsada por celdas de combustible de hidrógeno verde. Esto incluye el despliegue real en operaciones diarias de un tractor de terminal y una grúa reachstacker de cero emisiones directas, acompañados de una estación móvil de suministro de hidrógeno (hidrogenera).

Figura 5

Integración De Tecnologías De Bajo Carbono E Hidrógeno Verde En Valenciaport



Nota. Adaptado de Autoridad Portuaria de Valencia (2023).

Despliegue de Infraestructura OPS (Onshore Power Supply): La APV (2023) inició la construcción de subestaciones eléctricas en sus muelles principales para proporcionar conexión

directa a la red a los buques atracados, permitiendo el apagado total de sus motores térmicos durante su estancia.

Autogeneración Energética Descentralizada: El puerto avanzó hacia la autosuficiencia limpia mediante la instalación de parques fotovoltaicos sobre las cubiertas de las terminales y zonas de almacenamiento, proyectando la integración de turbinas eólicas adaptadas al entorno portuario para abastecer la demanda eléctrica del recinto (APV, 2023).

Prácticas E Impacto En La Sostenibilidad Logística

Bajo la marca estratégica "Valencia 2030 Cero Emisiones", el puerto fijó el compromiso de neutralizar completamente su huella de carbono dos décadas antes de las metas globales del Pacto Verde Europeo (APV, 2023).

Según los datos presentados por la Fundación Valenciaport (2022), las políticas acumuladas de eficiencia energética, sustitución de combustibles e integración de sistemas inteligentes de transporte han permitido al Puerto de Valencia reducir su huella de carbono en más de un 30% desde el año 2008, aun cuando el volumen de mercancías procesadas (TEUs) ha aumentado progresivamente en el mismo periodo, demostrando un desacoplamiento efectivo entre el crecimiento económico y el impacto ambiental.

Figura 6

Infraestructura Y Terminal De Contenedores En El Puerto De Valencia Dentro Del Marco De La Estrategia Valencia 2030 Cero Emisiones



Nota. Adaptado de Autoridad Portuaria de Valencia (2023).

3. Caso De Estudio: Puerto De Cartagena (Colombia)

El Grupo Puerto de Cartagena (GPC), integrado por la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena (SPRC) y la Terminal de Contenedores de Cartagena (Contecar), representa el estándar de excelencia y sostenibilidad en la logística portuaria de América Latina y el Caribe. Su modelo demuestra la viabilidad técnica y financiera de la transición energética en economías emergentes.

Fuentes De Emisiones De Carbono Y Diagnóstico Inicial

Los análisis de sostenibilidad del Grupo Puerto de Cartagena (GPC, 2023) señalan que la huella operacional del complejo portuario estaba dominada por el consumo energético directo e indirecto necesario para sostener su elevada productividad:

Operación Intensiva de Grúas de Patio: Históricamente, el parque de grúas sobre neumáticos (RTG) representaba la fuente primaria de emisiones directas de CO₂ debido al uso

continuo de motores diésel para elevar y trasladar contenedores en los patios de almacenamiento (GPC, 2022).

Elevada Demanda Eléctrica para Carga Refrigerada: Dada su posición como nodo agroexportador clave en la región, el puerto requiere un consumo eléctrico masivo para alimentar simultáneamente miles de contenedores refrigerados (reefers).

Flujo Vehicular Terrestre: El acceso de camiones de carga nacional generaba congestiones operativas y emisiones asociadas al ralentí en las inmediaciones de la zona urbana de Cartagena.

Tecnologías Y Estrategias Sostenibles Aplicadas

Para contrarrestar estas vulnerabilidades, el Grupo Puerto de Cartagena diseñó un plan de reconversión de infraestructura enfocado en la electrificación y las energías limpias:

Electrificación Masiva de Grúas de Patio (e-RTGs): El puerto ejecutó uno de los proyectos de reconversión más ambiciosos de la región, transformando su flota de grúas RTG de combustión interna diésel a sistemas alimentados 100% por electricidad mediante un sistema de carretiles o barras electrificadas (GPC, 2022). Esto erradicó el consumo de combustible fósil en la manipulación interna de contenedores.

Figura 7

Grúas De Patio E-RTG 100% Electrificadas Y Cubierta Fotovoltaica En El Puerto De Cartagena



Nota. Adaptado del Grupo Puerto de Cartagena (2023).

Autogeneración por Energía Solar Fotovoltaica: GPC (2023) instaló un megasistema de paneles solares sobre los techos de sus bodegas y talleres, abarcando una superficie superior a los 22.000 m² con más de 6.000 módulos fotovoltaicos. Esta infraestructura genera cerca de 3 millones de kWh/ año de energía limpia para el autoconsumo de las instalaciones.

Sistemas Digitales de Citas y Control de Accesos: Mediante la digitalización del proceso de recibo y entrega de carga, se implementó un software de agendamiento que distribuye el flujo de camiones a lo largo del día, eliminando las largas filas de espera fuera de las terminales (GPC, 2023).

Prácticas E Impacto En La Sostenibilidad Logística

La estrategia de sostenibilidad ambiental del Grupo Puerto de Cartagena se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas.

De acuerdo con el Informe de Responsabilidad Ambiental del GPC (2023), la transición hacia grúas electrificadas e infraestructura fotovoltaica ha permitido una reducción cuantitativa de la huella de carbono del 22% en la terminal SPRC y del 11,3% en Contecar. Además de la mitigación de gases de efecto invernadero, la electrificación redujo la contaminación acústica en las zonas aledañas a la bahía y optimizó los costos de mantenimiento preventivo de la maquinaria, posicionando a Cartagena como un referente de eficiencia operacional verde en América Latina.

Figura 8

Impacto Operacional Y Ambiental De La Electrificación De Maquinaria E Infraestructura Fotovoltaica En El Grupo Puerto De Cartagena



Nota. Elaboración propia a partir de datos del Informe de Responsabilidad Ambiental del GPC (2023).

4. Caso Regional Adicional: Puerto De Posorja / Guayaquil (Ecuador)

La Terminal Marítima de Aguas Profundas de Posorja, operada por DP World Posorja en el estuario del Golfo de Guayaquil, representa el estándar de vanguardia en infraestructura y sostenibilidad dentro del sistema portuario del Ecuador y la costa pacífica sudamericana. Su modelo demuestra la efectividad de diseñar e implementar un puerto "nativo limpio" (Greenfield Port) con tecnología de bajas emisiones desde su concepción inicial.

Fuentes De Emisiones De Carbono Y Diagnóstico Inicial

Los análisis de sostenibilidad del sistema portuario ecuatoriano y DP World (2023) señalan que la huella de carbono operacional en la logística costera estaba históricamente condicionada por las características operativas del estuario:

Maniobras y Tiempos de Navegación en Canal de Acceso: Tradicionalmente, los buques de gran calado requerían largas travesías en aguas interiores a bajas velocidades y con marea favorable para ingresar a los muelles fluviales de Guayaquil, incrementando el consumo total de combustible marino (MGO / VLSFO) y las emisiones asociadas por unidad de carga (TEU).

Demanda Energética Masiva para la Cadena de Frío: Al ser el Ecuador el principal exportador mundial de banano y uno de los mayores exportadores de camarón, la operación en patio requiere un suministro eléctrico ininterrumpido de alta potencia para mantener simultáneamente miles de contenedores refrigerados (reefers).

Congestión y Ralentí del Transporte Terrestre: La concentración del tráfico pesado hacia los terminales del Guayas generaba embotellamientos en las vías de acceso (como la Vía a la Costa y la Perimetral), aumentando las emisiones de Alcance 3 por el tiempo de motor encendido sin desplazamiento (idle time).

Tecnologías Y Estrategias Sostenibles Aplicadas

Para mitigar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia operativa, la terminal de Posorja incorporó una estrategia integral de electrificación, optimización marítima y digitalización:

Equipamiento de Muelle y Patio 100% Eléctrico: Desde la fase de diseño e inicio de operaciones, Posorja prescindió de los motores térmicos diésel en su maquinaria pesada principal. Se instalaron grúas de muelle Ship-to-Shore (STS) y grúas de patio e-RTG alimentadas enteramente por energía eléctrica de alta tensión, incorporando sistemas de regeneración energética durante el descenso de los contenedores (DP World, 2023).

Figura 9

Infraestructura Greenfield Y Grúas De Muelle Eléctricas En La Terminal De Aguas Profundas De DP World Posorja



Nota. Adaptado de DP World Posorja (2023).

Dragado de Aguas Profundas y Eficiencia Marítima: La apertura de un canal de acceso directo a 16 metros de profundidad permitió la llegada de buques Neo-Panamax a su máxima capacidad de carga. Esto redujo drásticamente el tiempo de maniobra en canal y optimizó el consumo energético por contenedor transportado en la ruta intercontinental.

Automatización de Portones y Sistemas de Citas (PCS): Mediante la integración de tecnología OCR (Optical Character Recognition) en los accesos (Gate Automation) y la plataforma digital Port Community System, se automatizó el ingreso y salida del transporte pesado, coordinando las ventanas de atención y eliminando las filas en los exteriores de la terminal.

Prácticas E Impacto En La Sostenibilidad Logística

La estrategia ambiental de la terminal de Posorja se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas y las directrices de descarbonización de la Organización Marítima Internacional (OMI).

De acuerdo con los reportes de sostenibilidad operacional (DP World, 2023), el uso de grúas de muelle y patio 100% eléctricas elimina las emisiones directas asociadas a la combustión de diésel en esos equipos dentro de la terminal, trasladando el análisis de impacto al consumo indirecto de Alcance 2 según la matriz energética nacional.

La fluidez en el ingreso terrestre redujo en más de un 60% los tiempos de espera de los camiones de carga, disminuyendo significativamente las emisiones indirectas de Alcance 3. Asimismo, estas prácticas de sostenibilidad se complementan con programas de compensación de huella de carbono, como la restauración de cientos de hectáreas de ecosistema de manglar en el Golfo de Guayaquil (Blue Carbon), fortaleciendo la competitividad verde del banano y el camarón ecuatoriano en los mercados internacionales.

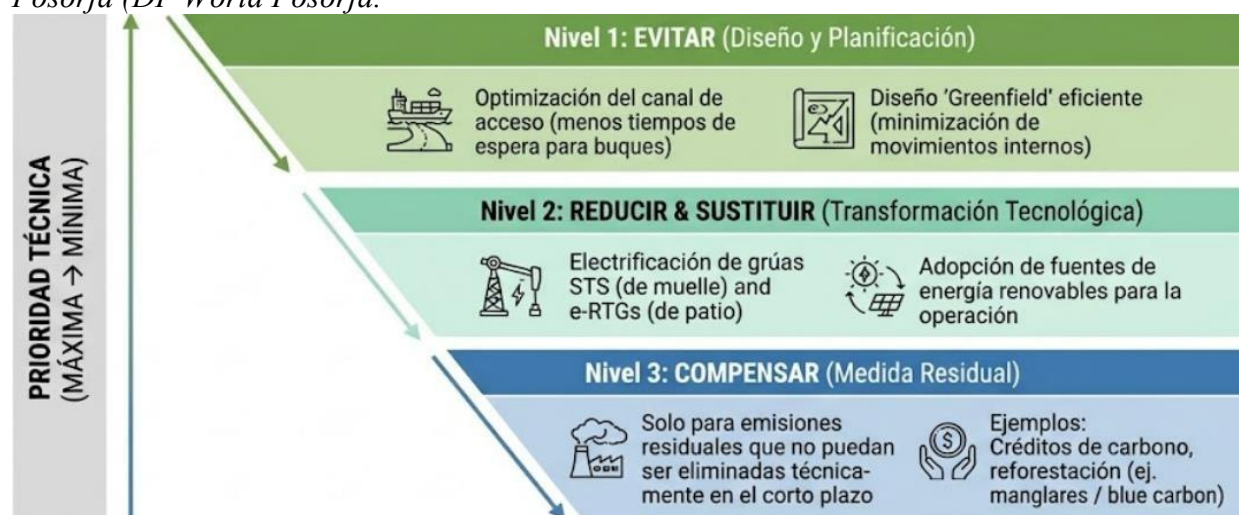
Aplicación De La Jerarquía De Descarbonización En El Terminal De Posorja

Al evaluar el desempeño ambiental del Terminal de Posorja (DP World Posorja), su modelo operativo destaca por alinearse desde su concepción con los primeros niveles de la Jerarquía de Descarbonización (Evitar, Reducir y Sustituir). Al tratarse de una infraestructura de reciente diseño (greenfield), incorporó desde su origen tecnologías de electrificación directa en muelle y patio (grúas STS y e-RTG 100% eléctricas), evitando las emisiones directas del diésel convencional.

En este contexto, cualquier avance o meta hacia la neutralidad de carbono dentro del puerto debe mantener este principio técnico: la reconversión tecnológica directa y la eficiencia energética operativa tienen prioridad absoluta, dejando los mecanismos de compensación ambiental únicamente para las emisiones residuales que no puedan ser eliminadas técnicamente en el corto plazo.

Figura 10

Esquema Analítico De La Jerarquía De Descarbonización Aplicada Al Terminal De Posorja (DP World Posorja).



Nota. Adaptado de la jerarquía de mitigación ambiental y GHG Protocol para DP World Posorja (2026).

Tabla 6

Matriz Comparativa E Indicadores De Descarbonización En Los Casos De Estudio Portuarios (Los Ángeles, Valencia, Cartagena Y Posorja)

<i>Puerto / Caso</i>	<i>Período / Año</i>	<i>Línea Base (Emisión Inicial)</i>	<i>Estrategia / Acción Realizada</i>	<i>Indicador / Métrica (KPI)</i>	<i>Resultado / Reducción Lograda</i>	<i>Unidad de Medida</i>	<i>Fuente de Información</i>
<i>Los Ángeles (EE.UU.)</i>	2005 – 2022	Elevada concentración de DPM y GEI en atracó y acarreo.	Conexión eléctrica a tierra (AMP/OPS), plan CAAP y plataforma Port Optimizer.	Toneladas de CO _{2e} y DPM/TEU	-85% en \$DPM\$, -45% en \$GEI\$	% reducción	POLA Air Emissions Inventory (2023)
<i>Valencia (España)</i>	2008 – 2023	Alto consumo de gasóleo en maquinaria de patio y buques.	Proyecto H2Ports (hidrógeno), parques fotovoltaicos y subestaciones OPS.	Kg CO _{2e} tonelada de carga	Reducción de más del 30% de huella global	Kg CO _{2e} /t	Autoridad Portuaria de Valencia (2023)
<i>Cartagena (Colombia)</i>	2018 – 2023	Flota diésel de grúas RTG y alta demanda eléctrica reefer.	Electrificación de RTG a e-RTG y \$+22.000 m ² de cubierta fotovoltaica.	t CO _{2e} / movimiento de contenedor	-22% en SPRC y -11.3% en Contecar	% reducción	Informe de Sostenibilidad GPC (2023)
<i>Posorja (Ecuador)</i>	2019 – 2023	Larga travesía en canal y ralentí en accesos terrestres.	Diseño Greenfield con grúas STS y e-RTG 100% eléctricas y citas PCS.	g CO _{2e} /camión y kWh/TEU	Eliminación de emisiones diésel directas en equipo principal y -60% tiempos ralentí	% y kWh/T EU	Reporte Operacion al DP World (2023)

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de los casos de estudios portuarios (2026)

Conclusiones Del Capítulo

La descarbonización ha dejado de ser un compromiso opcional para convertirse en un imperativo regulatorio y de competitividad en la logística portuaria internacional. El diagnóstico preciso mediante la elaboración de inventarios de emisiones estructurados en Alcances 1, 2 y 3 constituye la condición básica e indispensable para identificar los procesos críticos en muelle y patio, permitiendo diseñar planes de mitigación eficaces, prioritarios y medibles.

La adopción e integración de tecnologías de bajas emisiones, como la electrificación de grúas de patio (e-RTGs), la autogeneración con energías renovables y los sistemas de conexión eléctrica a tierra (Onshore Power Supply / Cold Ironing), permite neutralizar la mayor parte de las emisiones operativas directas e indirectas del recinto portuario. Asimismo, la digitalización (sistemas PCS, citas electrónicas, IA y sensores IoT) actúa como un catalizador de eficiencia que logra reducciones inmediatas de la huella de carbono sin requerir inversiones masivas en maquinaria pesada.

La evidencia analizada en los casos de estudio de puertos globales y regionales (Los Ángeles, Valencia, Cartagena y Posorja) demuestra que la implementación de prácticas sostenibles no solo mitiga el impacto ambiental, sino que optimiza los costos operativos de mantenimiento y mejora la fluidez en el transporte intermodal. La colaboración estratégica entre el sector público, las terminales privadas y la academia resulta fundamental para consolidar la transición energética y fortalecer la ventaja competitiva verde de la cadena agroexportadora.

Recomendaciones

Promover un marco regulatorio e incentivos fiscales: Se recomienda a las autoridades portuarias nacionales y entes gubernamentales establecer políticas públicas e incentivos tributarios que faciliten la importación e inversión en tecnología 100% eléctrica y de cero emisiones para las terminales portuarias.

Fortalecer la infraestructura energética y alianzas estratégico-públicas: Se sugiere a los operadores de las terminales gestionar alianzas con las empresas proveedoras de energía eléctrica para garantizar un suministro continuo, limpio y de alta potencia, requisito indispensable para la implementación efectiva de sistemas Cold Ironing (OPS) en muelle.

Implementar estándares de medición y mejora continua: Se aconseja a las terminales portuarias adoptar metodologías unificadas de medición de huella de carbono (como las normas ISO 14064 e ISO 50001) para auditar periódicamente sus emisiones en los Alcances 1, 2 y 3, garantizando un plan de descarbonización con metas medibles a mediano y largo plazo.

Preguntas De Análisis

¿Cuál considera que es la principal fuente de emisiones de Alcance 1 dentro de una terminal portuaria tradicional y qué tecnología permite sustituirla?

¿Qué ventajas estratégicas y operativas presenta el hidrógeno verde frente al uso de baterías eléctricas convencionales en maquinaria portuaria de gran tonelaje?

¿De qué manera la implementación del Cold Ironing (OPS) impacta directamente en la calidad de vida de las comunidades urbanas colindantes a los puertos?

¿Cómo contribuyen herramientas digitales como los Gemelos Digitales (Digital Twins) y la Inteligencia Artificial a la reducción de consumos energéticos en patio?

¿Cuáles son los principales obstáculos financieros, técnicos y regulatorios que enfrenta un puerto en desarrollo (como los del Ecuador) para avanzar hacia la neutralidad de carbono?

Actividad Integradora: Caso De Estudio Práctico

Una terminal portuaria multipropósito registra en su inventario anual los siguientes datos de consumo y operación:

Consumo de combustible diésel: 1.500.000litros/años consumidos por una flota de 15 grúas RTG térmicas y 20 tractores de patio.

Consumo eléctrico de la red: 8 GWh/años destinados al funcionamiento de grúas STS, iluminación de patios y alimentación de 500 tomas refrigeradas (reefers).

Tráficos marítimos y terrestres: Atraco promedio de 250 buques/mes (que operan con motores auxiliares a diésel en muelle) y el ingreso diario de 800 camiones de carga con un tiempo promedio de espera en ralentí de 45 minutos en los portones de acceso.

Consignas Para El Estudiante

Con base en los conceptos desarrollados en el capítulo, resuelva los siguientes puntos:

1. Identificación y Clasificación: Identifique las fuentes de emisión descritas en el caso y clasifíquelas estrictamente según el Alcance 1, Alcance 2 o Alcance 3.
2. Propuesta de Estrategias: Proponga cinco (5) soluciones tecnológicas o digitales concretas (una para cada fuente identificada) para descarbonizar la terminal.
3. Matriz de Priorización: Ordene las cinco propuestas en una matriz de priorización considerando: Impacto en Reducción de Emisiones (Alto/Medio/Bajo) y Costo de Inversión Inicial (Alto/Medio/Bajo).
4. Estimación de Beneficios: Describa de manera cualitativa los beneficios ambientales, operacionales y de relación puerto-ciudad que obtendría la terminal tras la ejecución de las medidas seleccionadas.

Referencias

Agencia Internacional de Energías Renovables. (2020). Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal. IRENA. Abu Dhabi.

Agencia Internacional de las Energías Renovables. (2021). A Navigational Route to Production of Green Hydrogen and Low-Carbon Fuels for Shipping. IRENA. Abu Dhabi.

Agencia Internacional de Energías Renovables. (2024). World Energy Transitions Outlook 2024: 1.5°C Pathway. IRENA. Abu Dhabi.

Agencia Internacional de la Energía. (2023). Renewables 2023: Analysis and Forecast to 2028. IEA Publications. París.

Agencia Internacional de la Energía. (2024). Global Hydrogen Review 2024. IEA Publications. París.

Asociación Internacional de Puertos y Terminales. (2020). World Ports Sustainability Program (WPSP) Report. IAPH. Amberes.

Asociación Internacional de Puertos y Terminales. (2021a). World Ports Sustainability Program Annual Report. IAPH. Amberes.

Asociación Internacional de Puertos y Terminales. (2021b). World Ports Sustainability Program. IAPH. Amberes.

Autoridad Portuaria de Valencia. (2023). Declaración Ambiental y Memoria de Sostenibilidad del Puerto de Valencia (2022-2023). Valenciaport. España.

California Air Resources Board. (2020). Airborne Toxic Control Measure for Auxiliary Engines Clean Air Regulation (At-Berth Regulation). State of California.

Comisión Europea. (2023). FuelEU Maritime Initiative: Decarbonising Maritime Transport. Dirección General de Movilidad y Transportes. Bruselas.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. (2022). Informe sobre el transporte marítimo 2022: Desafíos del transporte marítimo sostenible y descarbonización. Naciones Unidas / UNCTAD. Nueva York y Ginebra.

DP World Posorja. (2023). Informe de Operaciones Portuarias, Innovación Tecnológica y Sostenibilidad Ambiental. Guayaquil, Ecuador.

European Sea Ports Organisation. (2024). ESPO Environmental Report 2024. ESPO. Bruselas.

Fundación Valenciaport. (2022). Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Estrategia de Eficiencia Energética. Centro de Innovación y Promoción de la Comunidad Portuaria.

Fundación Valenciaport. (2023). Proyecto H2Ports: Testing Fuel Cell Applications in Port Operations. Programa Marco de Investigación e Innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea.

Greenhouse Gas Protocol. (2015). GHG Protocol Scope 2 Guidance: An Amendment to the GHG Protocol Corporate Standard. World Resources Institute (WRI) & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Washington, D.C.

Grupo Puerto de Cartagena. (2022). Electrificación de grúas RTG: transformación energética para un puerto más eficiente. Dirección de Comunicaciones y Sostenibilidad. Cartagena, Colombia.

Grupo Puerto de Cartagena. (2023). Informe de Sostenibilidad y Reporte ODS: Electrificación y Eficiencia Energética en Terminales (SPRC & Contecar). Cartagena, Colombia.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES. Hayama, Japón.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Ginebra.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 14064-1:2018 Greenhouse Gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. ISO. Ginebra.

Muñoz, L. (2017). Inversión en tecnología: Aplicación de las tecnologías TIC - ITS: Sistemas CORE [Presentación de diapositivas]. Indra / Comisión Interamericana de Puertos (CIP/OEA).

Organización Marítima Internacional. (2020a). Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. International Maritime Organization. Londres.

Organización Marítima Internacional. (2020b). Study on the Decarbonization of Port Operations and Equipment. IMO Publications. Londres.

Organización Marítima Internacional. (2020c). Estrategia inicial de la OMI sobre la reducción de las emisiones de GEI procedentes de los buques. Publicaciones de la OMI.

Organización Marítima Internacional. (2023). 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. IMO Publications. Londres.

Organización Marítima Internacional. (2024). Marine Environment Protection Committee (MEPC) Reports. IMO Publications. Londres.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2014). The Competitiveness of Global Port-Cities. OECD Publishing. París.

Port of Los Angeles. (2022). Clean Air Action Plan (CAAP) Progress Report and Alternative Maritime Power Implementation. City of Los Angeles.

Port of Los Angeles. (2023). 2022 Air Emissions Inventory Report. City of Los Angeles Harbor Department, Environmental Management Division.

Port of Los Angeles & Port of Long Beach. (2017). San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan (CAAP) 2017 Update. San Pedro Bay Ports. California

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2023). Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). UNEP. Nairobi.

Starcrest Consulting Group, LLC. (2023). Port of Los Angeles Air Emissions Inventory Technical Report. Prepared for the Port of Los Angeles.

The World Bank. (2021). Climate Smart Ports: Strategic Framework and Assessment Tool. Grupo Banco Mundial. Washington, D.C.

Toyota & Kenworth. (2021). Zero-Emission Freight Facilities (ZANZEFF) Hydrogen Fuel Cell Truck Demonstration Project Report. POLA Technical Publications.

Wabtec Corporation & Port of Los Angeles. (2022). Port Optimizer Digitalization Platform Report. Technical Operations Whitepaper.

CAPITULO 4

Innovación tecnológica para los puertos verdes

González Rodríguez Liliana

Cantos Sancan Anahi

Guzman Corozo Denisse

Macias Arauz Ginger

Resumen

El capítulo 4, denominado “Innovación tecnológica para los puertos verdes”, analiza el papel de las tecnologías digitales en la transformación de los puertos tradicionales hacia modelos inteligentes, eficientes, competitivos y ambientalmente sostenibles. La innovación tecnológica se presenta como un elemento fundamental para responder a los desafíos relacionados con el crecimiento del comercio marítimo, la eficiencia operativa, la seguridad y la protección ambiental.

El concepto de Smart Port constituye el eje central de esta transformación, mediante la integración de sistemas digitales, automatización y análisis de información en tiempo real. Dentro de las principales tecnologías estudiadas se encuentran el Internet de las Cosas, que permite monitorear equipos, mercancías y variables ambientales; la Inteligencia Artificial, utilizada para realizar predicciones, optimizar recursos y fortalecer la toma de decisiones; y el Big Data, que transforma grandes volúmenes de información en conocimiento útil para mejorar las operaciones y la gestión ambiental. Asimismo, Blockchain favorece la digitalización documental, la trazabilidad y el intercambio seguro de información.

El capítulo también aborda la automatización portuaria, los gemelos digitales, drones y sensores ambientales, herramientas que permiten optimizar procesos, realizar mantenimiento predictivo, supervisar infraestructuras, detectar riesgos y controlar emisiones. La integración de estas tecnologías con sistemas inteligentes fortalece la eficiencia energética y la gestión ambiental.

Finalmente, los casos de Singapur, Amberes-Brujas y Busan evidencian cómo la digitalización puede contribuir al desarrollo de puertos más conectados, seguros, competitivos y sostenibles.

Abstract

Chapter 4, entitled “Technological Innovation for Green Ports,” analyzes the role of digital technologies in transforming traditional ports into smart, efficient, competitive, and environmentally sustainable facilities. Technological innovation is presented as a fundamental element for addressing challenges related to the growth of maritime trade, operational efficiency, safety, and environmental protection.

The concept of the Smart Port represents the central focus of this transformation through the integration of digital systems, automation, and real-time data analysis. The main technologies discussed include the Internet of Things (IoT), which enables the monitoring of equipment, cargo, and environmental variables; Artificial Intelligence (AI), used for predictions, resource optimization, and decision-making; and Big Data, which transforms large volumes of information into useful knowledge to improve operations and environmental management. Likewise, Blockchain supports document digitalization, traceability, and secure information exchange.

The chapter also addresses port automation, digital twins, drones, and environmental sensors, which contribute to process optimization, predictive maintenance, infrastructure monitoring, risk detection, and emissions control. The integration of these technologies with intelligent systems strengthens energy efficiency and environmental management.

Finally, the case studies of Singapore, Antwerp-Bruges, and Busan demonstrate how digitalization can contribute to the development of more connected, safe, competitive, and sustainable ports.

Introducción

El crecimiento del comercio marítimo internacional y de las actividades portuarias ha generado nuevos desafíos relacionados con la eficiencia, seguridad, competitividad y protección ambiental. Ante esta realidad, la innovación tecnológica se ha convertido en una herramienta fundamental para transformar los puertos tradicionales en instalaciones más modernas, eficientes y sostenibles.

En este contexto surge el concepto de Smart Port o Puerto Inteligente, basado en la integración de tecnologías digitales, sistemas de información, automatización y análisis de datos. Estas herramientas permiten optimizar las operaciones, mejorar la coordinación entre los actores de la cadena logística y facilitar una toma de decisiones más eficiente. La transición hacia puertos verdes requiere que la modernización tecnológica contribuya también a reducir los impactos ambientales.

El monitoreo de emisiones, consumo energético, calidad del aire, agua y ruido permite identificar riesgos y establecer medidas de prevención y control, favoreciendo una gestión portuaria más responsable. En este capítulo se analizan tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial, Big Data, Blockchain, automatización portuaria, gemelos digitales, drones y sensores ambientales. Su integración permite mejorar la planificación, supervisión y seguridad de las operaciones, además de fortalecer la gestión ambiental.

Finalmente, se presentan los casos de Singapur, Amberes-Brujas y Busan, que muestran cómo la innovación tecnológica puede contribuir al desarrollo de puertos más conectados, competitivos, seguros y sostenibles. Estas experiencias evidencian que la transformación digital constituye un elemento esencial para avanzar hacia un modelo portuario que combine eficiencia operativa y protección del medio ambiente.

Objetivo general

Analizar las principales tecnologías que impulsan la transición ambiental

Objetivos específicos

1. Identificar las principales tecnologías implementadas en los puertos verdes que contribuyen a la transición ambiental
2. Evaluar el impacto de las tecnologías implementadas en la sostenibilidad ambiental y la eficiencia de las operaciones portuarias
3. Proponer una estrategia de innovación tecnológica que fortalezca la transición hacia puertos verdes sostenibles

Desarrollo

Smart Port

El crecimiento del comercio marítimo internacional y la necesidad de mejorar la competitividad de los puertos han impulsado la transformación de las terminales portuarias tradicionales hacia modelos de gestión inteligentes. En este contexto surge el concepto de Smart Port o Puerto Inteligente, entendido como un puerto que integra tecnologías digitales, sistemas de información y procesos automatizados para optimizar las operaciones logísticas, mejorar la seguridad y promover la sostenibilidad ambiental. A diferencia de un puerto convencional, un Smart Port basa gran parte de su funcionamiento en la recopilación, análisis e intercambio de información en tiempo real, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y una mejor coordinación entre los actores de la cadena logística.

De acuerdo con Belmoukari et al. (2023), un Smart Port no se limita únicamente a la incorporación de tecnologías avanzadas, sino que representa un cambio integral en la forma de administrar las operaciones portuarias. Este modelo combina infraestructura física, plataformas digitales, automatización, sistemas de comunicación y herramientas de análisis de datos para incrementar la productividad, reducir los costos operativos y minimizar los impactos ambientales

asociados al transporte marítimo. De esta manera, la innovación tecnológica se convierte en un elemento estratégico para fortalecer la competitividad de los puertos frente a un comercio internacional cada vez más dinámico.

La digitalización de las operaciones también favorece una mayor integración entre navieras, autoridades portuarias, operadores logísticos, agencias aduaneras y empresas de transporte terrestre. Gracias a esta conectividad es posible intercambiar información en tiempo real, coordinar actividades y reducir los tiempos de espera de buques y mercancías, lo que repercute positivamente en la eficiencia de toda la cadena de suministro (UNCTAD, 2023)

Smart Port y la transformación digital portuaria

La evolución de los Smart Ports está estrechamente relacionada con el desarrollo de la Industria 4.0, caracterizada por la integración de tecnologías digitales en los procesos productivos y logísticos. Según Heilig, Lalla-Ruiz y Voß (2017), la transformación digital portuaria implica el uso de herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA), Big Data, Blockchain, computación en la nube y automatización para mejorar la planificación, supervisión y control de las operaciones.

Estas tecnologías permiten recopilar información de sensores instalados en grúas, contenedores, vehículos, muelles y embarcaciones, facilitando el monitoreo permanente del estado de la infraestructura y del flujo de mercancías. El análisis de estos datos contribuye a

optimizar la asignación de recursos, disminuir la congestión portuaria y mejorar la capacidad de respuesta ante incidentes operativos.

Asimismo, la transformación digital favorece la interoperabilidad entre los diferentes sistemas utilizados por las organizaciones que participan en el comercio marítimo. La existencia de plataformas compartidas de información reduce la duplicidad de procesos, mejora la trazabilidad documental y agiliza los trámites administrativos, fortaleciendo la eficiencia de las operaciones portuarias (UNCTAD, 2023).

Figura 1 Smart port y la Transformación Digital



Smart Port y la transición hacia puertos verdes

Uno de los principales aportes de los Smart Ports consiste en facilitar la transición hacia modelos de puertos verdes mediante el uso eficiente de los recursos naturales y la reducción de los impactos ambientales. La incorporación de sensores inteligentes permite monitorear variables como el consumo energético, las emisiones de gases de efecto invernadero, la calidad del aire y

el ruido ambiental, proporcionando información para implementar medidas de mitigación y mejorar el desempeño ambiental del puerto.

Además, la automatización de procesos reduce los tiempos de operación de la maquinaria portuaria y disminuye el consumo de combustible, contribuyendo a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). La digitalización documental también representa un beneficio ambiental al disminuir el uso de papel y facilitar el intercambio electrónico de información entre los diferentes actores de la cadena logística (UNCTAD, 2023).

Desde una perspectiva estratégica, los Smart Ports constituyen un elemento clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la acción por el clima, la innovación industrial y la infraestructura resiliente. En consecuencia, la implementación de tecnologías inteligentes no solo incrementa la competitividad del puerto, sino que también fortalece su compromiso con la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico de largo plazo.

Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) es una tecnología que permite conectar objetos y equipos físicos mediante sensores, redes de comunicación y sistemas digitales. Estos dispositivos pueden recopilar y transmitir información de forma continua, permitiendo conocer el estado de diferentes procesos sin necesidad de realizar controles manuales constantemente. Por esta razón, el IoT se ha convertido en una tecnología de gran importancia para el desarrollo de

los Smart Ports, donde la disponibilidad de información en tiempo real permite mejorar la coordinación de las actividades portuarias.

En las instalaciones portuarias, los dispositivos IoT pueden incorporarse en contenedores, grúas, vehículos, almacenes, sistemas eléctricos y diferentes equipos utilizados para el manejo de mercancías. Los sensores pueden registrar datos relacionados con la ubicación, temperatura, humedad, consumo de energía, vibraciones y funcionamiento de los equipos. Posteriormente, esta información puede ser enviada a plataformas digitales para su análisis y utilización en la gestión de las operaciones.

Aplicaciones del IoT en los puertos inteligentes

Una de las principales aplicaciones del IoT en los Smart Ports es el seguimiento de los activos utilizados durante las operaciones. Los sensores permiten conocer la ubicación de contenedores y vehículos, así como obtener información sobre el funcionamiento de equipos portuarios. Esto facilita la organización de las actividades y puede contribuir a disminuir movimientos innecesarios y tiempos de espera.

Otra aplicación importante es el mantenimiento de la maquinaria. Los sensores instalados en grúas, vehículos y otros equipos pueden registrar cambios en las vibraciones, temperatura o funcionamiento de sus componentes. El análisis de estos datos permite identificar posibles problemas antes de que se produzca una avería, facilitando la planificación de los trabajos de mantenimiento y reduciendo interrupciones inesperadas (Heilig et al., 2017).

El IoT también tiene una función importante en la trazabilidad de las mercancías. Mediante dispositivos como RFID y sistemas de posicionamiento, los operadores pueden conocer la ubicación de los contenedores durante diferentes etapas de su recorrido. Esto facilita el intercambio de información entre terminales, transportistas, operadores logísticos y autoridades relacionadas con el comercio marítimo (UNCTAD, 2023)

Figura 2 Aplicaciones del IoT en los Puertos



IoT y gestión ambiental portuaria

El uso del IoT también puede aportar información útil para controlar los efectos ambientales de las actividades portuarias. En lugar de realizar únicamente mediciones periódicas, los sensores pueden recopilar información de manera continua sobre determinados parámetros ambientales. Entre ellos se encuentran la calidad del aire, el consumo energético, las emisiones, la temperatura del agua y los niveles de ruido.

Esta información permite identificar situaciones que requieren atención y facilita el seguimiento del comportamiento ambiental de las instalaciones. Por ejemplo, el registro del consumo energético de una grúa o de un sistema de iluminación puede ayudar a detectar consumos superiores a los esperados y establecer medidas de corrección. De igual manera, los sensores ambientales pueden proporcionar información que permita identificar cambios en las condiciones del entorno y actuar oportunamente (Li et al., 2023).

Por lo tanto, el aporte del IoT a los puertos no se limita a la automatización de las operaciones. Su capacidad para recopilar información de manera permanente también puede apoyar el control de los recursos utilizados y proporcionar datos para evaluar el desempeño ambiental de las actividades portuarias. La información obtenida puede convertirse en un elemento de apoyo para que los administradores de los puertos establezcan medidas orientadas a disminuir consumos y controlar los impactos derivados de sus operaciones (UNCTAD, 2023).

Inteligencia Artificial (IA)

La Inteligencia Artificial (IA) comprende un conjunto de técnicas informáticas utilizadas para desarrollar sistemas capaces de analizar información, reconocer patrones, realizar predicciones y apoyar procesos de toma de decisiones. Entre sus principales herramientas se encuentran el aprendizaje automático (Machine Learning) y el aprendizaje profundo (Deep Learning), que permiten procesar grandes cantidades de datos y obtener resultados a partir de información previamente recopilada (Norvig et al., 2021).

En el ámbito portuario, la IA puede utilizarse para analizar información procedente de diferentes fuentes y apoyar la planificación de las operaciones. Su incorporación en los Smart Ports permite trabajar con grandes volúmenes de datos relacionados con buques, mercancías, equipos, vehículos y condiciones operativas. De esta manera, los responsables de las terminales pueden disponer de información que facilite la asignación de recursos y la organización de las actividades portuarias (Li et al., 2023).

La utilidad de la IA aumenta cuando se combina con otras tecnologías digitales. Por ejemplo, los sensores IoT pueden recopilar información sobre los equipos y posteriormente estos datos pueden ser procesados mediante algoritmos de inteligencia artificial. Esta combinación permite pasar de una simple recopilación de información a un sistema capaz de identificar tendencias y generar predicciones.

Figura 3 Inteligencia Artificial (IA)



Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en los Smart Ports

Una de las aplicaciones de la IA se encuentra en la planificación de las operaciones. Los sistemas pueden analizar información relacionada con la llegada de buques, disponibilidad de muelles, capacidad de almacenamiento, cantidad de mercancías y disponibilidad de equipos. Con estos datos es posible apoyar la asignación de recursos y organizar las actividades de manera más adecuada.

La IA también puede utilizarse para el mantenimiento predictivo. Los datos obtenidos mediante sensores instalados en grúas, vehículos y maquinaria pueden ser analizados para identificar comportamientos fuera de lo normal. Si el sistema detecta cambios que podrían estar relacionados con una futura avería, los responsables pueden programar una revisión antes de que el equipo deje de funcionar, disminuyendo el riesgo de interrupciones en las operaciones (Heilig et al., 2017).

Otra aplicación corresponde a la organización de los movimientos internos de carga. Los algoritmos pueden analizar las rutas utilizadas por vehículos y equipos dentro de la terminal para identificar recorridos que podrían optimizarse. Asimismo, la inteligencia artificial puede incorporarse en sistemas de seguridad mediante cámaras y herramientas de análisis de imágenes, permitiendo detectar determinados comportamientos o situaciones que requieren la intervención del personal.

Inteligencia Artificial y control del impacto ambiental

La Inteligencia Artificial puede contribuir al control ambiental de los puertos principalmente mediante el análisis de información. Cuando los datos relacionados con el consumo energético, funcionamiento de equipos, emisiones y condiciones ambientales se recopilan de manera continua, los algoritmos pueden identificar patrones que serían difíciles de detectar mediante una revisión manual.

Por ejemplo, un sistema de IA puede analizar el comportamiento energético de determinados equipos y detectar períodos en los que el consumo aumenta sin que exista una variación equivalente en el nivel de actividad. Esta información puede servir para revisar el funcionamiento de los equipos y buscar oportunidades de ahorro energético. De forma similar, los datos ambientales pueden utilizarse para identificar variaciones en la calidad del aire o en otros indicadores y facilitar una respuesta más rápida ante situaciones anormales.

La IA también puede apoyar la reducción de emisiones mediante una mejor organización de las operaciones. La disminución de tiempos de espera, recorridos innecesarios y períodos de funcionamiento improductivo de la maquinaria puede reducir el consumo de combustible y energía. En este sentido, la tecnología no sustituye las medidas ambientales del puerto, sino que proporciona herramientas para tomar decisiones utilizando información más precisa y actualizada (OMI, 2023).

La combinación de Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas permite desarrollar sistemas en los que los datos obtenidos directamente de las operaciones son analizados para generar información útil para la gestión. Esta integración puede favorecer una administración portuaria

más eficiente, debido a que permite conocer con mayor precisión el funcionamiento de los equipos, anticipar determinadas situaciones y controlar el uso de recursos. Por ello, ambas tecnologías representan herramientas relevantes para la modernización de los puertos y para la incorporación de criterios ambientales en la planificación de sus actividades.

Big Data

El término Big Data hace referencia al conjunto de tecnologías y metodologías utilizadas para almacenar, gestionar y analizar grandes volúmenes de datos que, debido a su tamaño, velocidad de generación y diversidad, no pueden ser procesados mediante herramientas tradicionales (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013).

En el ámbito portuario, la digitalización de las operaciones genera diariamente millones de registros provenientes de sensores IoT, sistemas de navegación, plataformas logísticas, empresas navieras, operadores portuarios y autoridades aduaneras. El análisis de esta información permite comprender el comportamiento de las operaciones, identificar tendencias y mejorar la toma de decisiones estratégicas.

Las principales características del Big Data se conocen como las cinco V: volumen, velocidad, variedad, veracidad y valor. Estas dimensiones explican la capacidad del Big Data para transformar grandes cantidades de información en conocimiento útil para optimizar procesos y fortalecer la competitividad de las organizaciones (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013).

Figura 4 Big Data



Aplicaciones del Big Data en los Smart Ports

En los Smart Ports, el Big Data permite integrar información procedente de múltiples fuentes para mejorar la planificación y gestión de las operaciones portuarias. El análisis de datos históricos y en tiempo real facilita la predicción de la llegada de buques, la ocupación de muelles, la demanda de servicios y el comportamiento del tráfico marítimo.

Asimismo, el procesamiento masivo de datos permite optimizar el movimiento de contenedores, reducir los tiempos de espera y mejorar la utilización de la infraestructura

portuaria. Estas aplicaciones incrementan la eficiencia logística y fortalecen la competitividad del puerto dentro de las cadenas globales de suministro.

El Big Data también favorece la coordinación entre los diferentes actores del comercio marítimo al proporcionar información confiable para la planificación de operaciones, la gestión documental y la toma de decisiones colaborativas (UNCTAD, 2023).

Big Data y sostenibilidad ambiental

Desde el enfoque ambiental, el Big Data constituye una herramienta estratégica para impulsar la transición hacia puertos verdes. El análisis continuo de información sobre consumo energético, emisiones atmosféricas, calidad del aire, generación de residuos y utilización de recursos permite identificar oportunidades de mejora e implementar políticas ambientales más eficientes.

La utilización de modelos predictivos también facilita la prevención de riesgos ambientales mediante la identificación temprana de situaciones que podrían afectar la seguridad o generar contaminación. Esto permite actuar de manera preventiva, reduciendo costos y minimizando el impacto sobre el entorno (UNCTAD, 2023).

Otra ventaja importante del Big Data consiste en apoyar la planificación de inversiones relacionadas con infraestructura sostenible, eficiencia energética y modernización tecnológica,

permitiendo priorizar proyectos con mayor impacto económico y ambiental (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013).

En consecuencia, el Big Data se ha convertido en uno de los principales elementos tecnológicos para fortalecer la sostenibilidad de los Smart Ports, al transformar grandes cantidades de información en conocimiento útil para la toma de decisiones y la mejora continua de las operaciones portuarias (Li et al., 2023).

Blockchain

La Blockchain, conocida en español como cadena de bloques, es una tecnología de registro digital distribuido que permite almacenar información de forma descentralizada, segura, transparente e inmutable. A diferencia de las bases de datos tradicionales, donde la información es administrada por una única entidad, Blockchain distribuye los registros entre múltiples participantes de una red, garantizando que todas las transacciones sean verificadas mediante mecanismos criptográficos antes de incorporarse al sistema (Nakamoto, 2008).

Cada bloque contiene un conjunto de transacciones verificadas y un código criptográfico denominado hash, el cual se enlaza con el bloque anterior formando una cadena continua de información. Esta estructura impide la alteración de los datos registrados sin que toda la red detecte la modificación, lo que convierte a Blockchain en una tecnología altamente confiable para la gestión de información sensible (Casino et al., 2019).

Inicialmente, Blockchain fue desarrollada para respaldar el funcionamiento de las criptomonedas; sin embargo, actualmente sus aplicaciones abarcan sectores como la banca, la salud, la administración pública, la logística y el transporte marítimo. En el ámbito portuario, esta tecnología ha adquirido gran relevancia debido a su capacidad para mejorar la trazabilidad de las mercancías, fortalecer la seguridad documental y optimizar la coordinación entre los diferentes actores de la cadena de suministro.

La incorporación de Blockchain en los Smart Ports representa un avance significativo hacia la digitalización de las operaciones portuarias, ya que permite compartir información confiable entre navieras, operadores logísticos, autoridades aduaneras y clientes, reduciendo la dependencia de documentos físicos y agilizando los procesos administrativos.

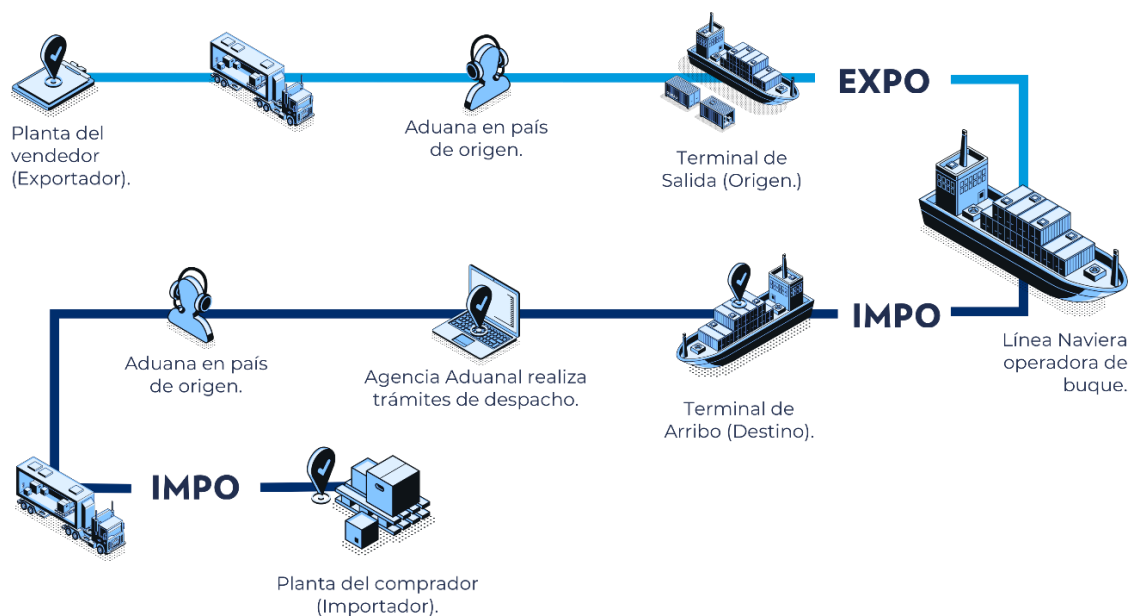
Funcionamiento de Blockchain

El funcionamiento de Blockchain se basa en una red descentralizada donde cada participante dispone de una copia actualizada del registro de transacciones. Cuando se genera una nueva operación, esta debe ser validada por los nodos de la red mediante algoritmos criptográficos antes de incorporarse a un nuevo bloque. Una vez aprobada, la información queda registrada de forma permanente y resulta prácticamente imposible modificarla sin alterar toda la cadena de bloques (Nakamoto, 2008)

Este mecanismo proporciona elevados niveles de seguridad, integridad y transparencia, reduciendo significativamente el riesgo de fraude, pérdida de información o manipulación documental. Además, la existencia de múltiples copias del registro garantiza la disponibilidad permanente de la información incluso ante fallos en alguno de los servidores que conforman la red.

En el sector marítimo-portuario, el funcionamiento descentralizado de Blockchain facilita el intercambio seguro de información entre organizaciones que tradicionalmente operaban mediante documentos físicos y sistemas independientes. Esta interoperabilidad permite mejorar la coordinación logística y reducir tiempos asociados a procesos administrativos y verificaciones documentales.

Figura 5 Funcionamiento de Blockchain en la cadena logística portuaria



Aplicaciones de Blockchain en los Smart Ports

La implementación de Blockchain en los puertos inteligentes ha permitido modernizar numerosos procesos logísticos mediante la digitalización segura de la información. Una de sus principales aplicaciones consiste en la gestión electrónica de documentos relacionados con el comercio internacional, como conocimientos de embarque (Bill of Lading), certificados de origen, manifiestos de carga, permisos aduaneros y documentación de transporte.

Tradicionalmente, estos documentos eran gestionados en formato físico, lo que incrementaba los tiempos de procesamiento, los costos administrativos y el riesgo de pérdida o falsificación. Mediante Blockchain, toda la documentación puede almacenarse digitalmente y compartirse de forma segura entre las partes autorizadas, disminuyendo considerablemente la carga administrativa y mejorando la eficiencia de las operaciones portuarias (UNCTAD, 2023).

Otra aplicación relevante corresponde a la trazabilidad de las mercancías. La tecnología permite registrar cada etapa del recorrido de un producto desde su origen hasta su destino final, proporcionando un historial completo y verificable de las operaciones realizadas durante el transporte. Esta capacidad incrementa la transparencia de la cadena logística y facilita la identificación de posibles incidentes o retrasos.

Asimismo, Blockchain mejora la coordinación entre navieras, operadores portuarios, autoridades aduaneras, empresas de transporte terrestre y clientes finales, al permitir que todos

los participantes consulten una única versión confiable de la información sin necesidad de duplicar registros o realizar múltiples verificaciones documentales.

Beneficios y desafíos de Blockchain en los puertos inteligentes

La adopción de Blockchain ofrece múltiples beneficios para las operaciones portuarias. Entre ellos destacan la mejora de la seguridad informática, la reducción del fraude documental, el fortalecimiento de la trazabilidad de las mercancías y la optimización de los procesos administrativos. Asimismo, esta tecnología incrementa la confianza entre los diferentes actores de la cadena logística al garantizar la integridad y disponibilidad de la información compartida (Casino et al., 2019).

Desde el punto de vista económico, Blockchain permite reducir costos operativos asociados a la gestión documental, disminuir errores administrativos y agilizar los procedimientos aduaneros. Estas ventajas incrementan la competitividad de los puertos y favorecen una mayor eficiencia en el comercio marítimo internacional.

No obstante, la implementación de esta tecnología también enfrenta desafíos importantes. Entre ellos se encuentran la necesidad de realizar inversiones significativas en infraestructura tecnológica, la integración con sistemas informáticos existentes, la capacitación del personal y la definición de marcos regulatorios que faciliten el intercambio seguro de información entre organizaciones públicas y privadas.

A pesar de estas limitaciones, la literatura científica coincide en que Blockchain desempeñará un papel cada vez más relevante dentro de los puertos inteligentes, especialmente cuando se combine con tecnologías como Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial y Big Data para construir ecosistemas logísticos completamente digitales, interoperables y sostenibles (Casino, 2019; Li, 2023).

Relación de Blockchain con la innovación tecnológica para los puertos verdes

La implementación de Blockchain contribuye directamente al cumplimiento de los objetivos, ya que constituye una de las principales tecnologías que impulsan la transición ambiental hacia puertos verdes. Su capacidad para digitalizar documentos, mejorar la trazabilidad, optimizar la coordinación logística y fortalecer la transparencia reduce el consumo de recursos, incrementa la eficiencia operativa y favorece una gestión portuaria más sostenible. En combinación con tecnologías como IoT, Inteligencia Artificial y Big Data, Blockchain fortalece el proceso de innovación tecnológica requerido para consolidar modelos portuarios inteligentes y ambientalmente responsables (Li et al., 2023).

Automatización Portuaria

Evolución de la automatización portuaria

La evolución de las actividades portuarias ha estado estrechamente relacionada con los avances tecnológicos y con la necesidad de mejorar la capacidad de respuesta frente al crecimiento del comercio marítimo internacional. Durante décadas, las operaciones portuarias dependieron principalmente de la intervención manual de los trabajadores y de maquinaria convencional para realizar actividades de carga, descarga, almacenamiento y movilización de

mercancías. Posteriormente, la incorporación progresiva de sistemas mecánicos y equipos especializados permitió aumentar la productividad y reducir los tiempos empleados en las operaciones. (Ortiz Ortiz, 2025)

Con el desarrollo de las tecnologías digitales, esta transformación adquirió una nueva dimensión. La utilización de sistemas de información, sensores, redes de comunicación, GPS, robótica, inteligencia artificial y análisis de datos permitió pasar de una mecanización de las actividades hacia procesos cada vez más automatizados y coordinados digitalmente. En este proceso surgieron las terminales automatizadas, capaces de controlar determinados equipos y operaciones mediante sistemas tecnológicos con una menor intervención humana.

Un antecedente importante de la automatización moderna se produjo en el puerto de Rotterdam en 1993, donde se introdujeron sistemas automatizados para la manipulación de contenedores. Este proceso marcó un cambio importante en la gestión de las terminales, al demostrar que determinadas actividades podían ser controladas mediante tecnologías avanzadas, incrementando la productividad y reduciendo la exposición de los trabajadores a determinadas operaciones de riesgo. Actualmente, la automatización se encuentra presente en numerosos puertos y terminales a nivel mundial, aunque su grado de implementación depende de las características, necesidades e infraestructura de cada instalación. (UNCTAD., 2019)

La evolución continúa actualmente hacia modelos en los que la automatización se combina con tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA), Big Data y gemelos digitales. Esta integración permite que los equipos no solamente ejecuten determinadas tareas de manera automática, sino que también recopilen información, analicen condiciones operativas y apoyen la toma de decisiones en tiempo real. De acuerdo con UNCTAD, la digitalización mediante inteligencia artificial, blockchain y automatización

constituye un elemento importante para mejorar el desempeño portuario y reducir tiempos de espera y congestión.

¿Qué es la automatización portuaria?

La automatización portuaria puede definirse como el proceso mediante el cual determinadas operaciones y actividades desarrolladas dentro de los puertos y terminales son ejecutadas, supervisadas o controladas mediante tecnologías digitales, sistemas automatizados, robótica y maquinaria inteligente, reduciendo la necesidad de intervención humana directa.

Su finalidad principal es transformar los procesos tradicionales en operaciones más eficientes, precisas, seguras y coordinadas. Entre las actividades que pueden incorporar diferentes niveles de automatización se encuentran la recepción y salida de vehículos, el movimiento y almacenamiento de contenedores, la operación de grúas, la gestión de patios, el seguimiento de mercancías y el intercambio de información entre los diferentes actores de la cadena logística. (Cazorla, 2023).

La automatización no debe entenderse únicamente como la sustitución de trabajadores por máquinas. Se trata de una transformación tecnológica y organizacional que requiere integrar equipos físicos, sistemas informáticos, datos, comunicaciones y personal especializado. Por esta razón, una terminal automatizada necesita una coordinación permanente entre sus sistemas operativos y las personas responsables de supervisar, mantener y controlar la infraestructura tecnológica.

En este sentido, la automatización constituye uno de los componentes fundamentales de los Smart Ports, debido a que permite conectar los procesos físicos con sistemas digitales capaces de recopilar información y utilizarla para mejorar la planificación y ejecución de las

operaciones. Su aplicación permite avanzar hacia terminales con mayor capacidad de respuesta, mejor utilización de los recursos y mayor control sobre las actividades portuarias. (Saade Hazin, 2026).

Figura 6 Automatización Portuaria



Principales tecnologías utilizadas en la automatización portuaria

La automatización portuaria requiere la integración de diferentes tecnologías que trabajan de manera coordinada para controlar equipos, gestionar información y optimizar los procesos logísticos. Entre las principales herramientas utilizadas se encuentran los sistemas de gestión portuaria, las grúas automatizadas, los vehículos guiados automáticamente, el Internet de las Cosas, la Inteligencia Artificial y el análisis de datos.

Sistemas de gestión portuaria

Los sistemas de gestión portuaria permiten planificar, controlar y supervisar las diferentes actividades que se desarrollan dentro de una terminal. Estos sistemas integran información relacionada con buques, carga, equipos, patios, puertas de acceso y operaciones logísticas. Su

utilización facilita la coordinación entre las distintas áreas de la terminal y permite disponer de información actualizada para tomar decisiones. Además, pueden integrarse con sensores, equipos automatizados y otras plataformas digitales para generar una visión más completa del funcionamiento de las instalaciones.

La integración de estos sistemas es especialmente importante en terminales automatizadas, debido a que las diferentes actividades deben estar coordinadas para evitar interrupciones, movimientos innecesarios y congestión. (Crawford Wright, 2011).

Grúas automatizadas

Las grúas automatizadas constituyen una de las principales tecnologías utilizadas en las terminales modernas. Estos equipos permiten realizar operaciones de manipulación y traslado de contenedores mediante sistemas automatizados que controlan sus movimientos.

Su utilización permite aumentar la precisión en las operaciones, mejorar la utilización de los espacios de almacenamiento y reducir la exposición de los trabajadores a determinadas actividades de riesgo. Las grúas automatizadas pueden integrarse con sistemas de gestión y sensores que permiten conocer su ubicación, estado operativo y actividad en tiempo real. (World Bank, 2024),

Vehículos Guiados Automáticamente (AGV)

Los Automated Guided Vehicles (AGV) son vehículos utilizados para transportar contenedores y otros tipos de carga dentro de las terminales sin requerir conducción humana directa. Estos equipos pueden desplazarse siguiendo rutas previamente establecidas y recibir instrucciones desde sistemas centrales de gestión.

La utilización de AGV permite coordinar de manera más eficiente el movimiento interno de mercancías y reducir desplazamientos innecesarios. Además, su integración con sistemas inteligentes permite modificar las rutas y asignar tareas de acuerdo con las condiciones operativas de la terminal. (Martínez González, 2025)

Inteligencia Artificial y análisis de datos

La Inteligencia Artificial permite analizar grandes cantidades de información y generar predicciones que pueden utilizarse para optimizar las operaciones portuarias. En combinación con los sistemas automatizados, puede contribuir a la planificación de movimientos, asignación de equipos, mantenimiento predictivo y gestión de los recursos.

El análisis de datos también permite identificar patrones de comportamiento y anticipar posibles problemas operativos. De esta manera, la automatización deja de limitarse a ejecutar instrucciones previamente programadas y puede evolucionar hacia sistemas capaces de apoyar decisiones basadas en información actualizada. (Paraskevas, 2024).

Beneficios de la automatización portuaria

La implementación de sistemas automatizados puede generar beneficios importantes tanto para las operaciones como para la seguridad y la competitividad de los puertos. Uno de los principales beneficios es el incremento de la eficiencia operativa, debido a que determinados procesos pueden ejecutarse con mayor precisión y continuidad.

Otro beneficio corresponde a la reducción de errores asociados a determinadas actividades manuales. Los sistemas automatizados pueden ejecutar movimientos siguiendo parámetros previamente establecidos, lo que permite mejorar la precisión y reducir operaciones innecesarias.

La automatización también puede contribuir a disminuir los tiempos de espera y mejorar la utilización de la infraestructura portuaria. Cuando los sistemas de gestión, equipos y vehículos trabajan de manera coordinada, es posible optimizar los movimientos dentro de las terminales y reducir la congestión.

Desde el punto de vista de la seguridad, la automatización permite disminuir la exposición directa de los trabajadores a determinadas actividades peligrosas. Los equipos automatizados pueden realizar tareas en zonas donde existen riesgos asociados a maquinaria pesada, movimientos de carga o circulación de vehículos. La Oficina de Rendición de Cuentas del Gobierno de Estados Unidos señala que la automatización puede mejorar la seguridad de los trabajadores al separar a las personas de determinadas operaciones con maquinaria.

Asimismo, la automatización puede generar beneficios económicos mediante una mejor utilización de los equipos y una reducción de determinados costos operativos. Sin embargo, estos beneficios dependen de la correcta planificación, integración y gestión de la tecnología. Estudios sobre terminales automatizadas señalan que los costos iniciales de inversión pueden ser elevados y que los resultados dependen de factores como la calidad de los datos, las capacidades técnicas y la integración de los procesos.

Automatización portuaria e impacto ambiental

La automatización portuaria también puede desempeñar un papel importante en la reducción de los impactos ambientales asociados a las actividades logísticas. Al optimizar los movimientos de equipos y mercancías, los sistemas automatizados pueden contribuir a disminuir desplazamientos innecesarios y, en determinados contextos, reducir el consumo de combustible y energía.

Uno de los principales aportes ambientales se relaciona con la optimización del uso de maquinaria. Cuando los sistemas de gestión pueden determinar las rutas y movimientos más eficientes, se reduce la posibilidad de realizar operaciones innecesarias. Esto puede traducirse en una menor utilización de recursos y una disminución de las emisiones generadas por los equipos.

La electrificación de vehículos y equipos automatizados constituye otra oportunidad para mejorar el desempeño ambiental. UNCTAD identifica el uso de vehículos eléctricos automatizados dentro de los puertos como una solución capaz de contribuir a la reducción de emisiones, además de generar beneficios relacionados con la descongestión y la seguridad laboral. La automatización también puede integrarse con sensores ambientales para monitorear continuamente las emisiones, el consumo energético, la calidad del aire y otros indicadores. De esta manera, los datos generados por los sistemas automatizados pueden utilizarse para identificar oportunidades de mejora y establecer medidas de eficiencia ambiental.

Por lo tanto, la automatización por sí sola no garantiza que un puerto sea sostenible. Su contribución ambiental depende de cómo se diseñen e implementen los sistemas, del tipo de energía utilizada y de la integración con otras estrategias ambientales. En un puerto verde, la automatización debe formar parte de una estrategia más amplia que incluya eficiencia energética, electrificación, energías limpias, monitoreo ambiental y gestión sostenible de los recursos.

(International Association of Ports and Harbors, s.f.)

Desafíos de la automatización portuaria

A pesar de sus beneficios, la automatización portuaria presenta diferentes desafíos que deben ser considerados antes y durante su implementación. Uno de los principales corresponde a la elevada inversión inicial necesaria para adquirir equipos, desarrollar infraestructura tecnológica, instalar sistemas de comunicación y adaptar las instalaciones existentes.

Otro desafío importante es la disponibilidad de personal capacitado. La incorporación de nuevas tecnologías requiere trabajadores capaces de operar, supervisar, mantener y solucionar problemas relacionados con equipos automatizados y sistemas digitales. Por ello, la capacitación y actualización profesional se convierten en componentes fundamentales de cualquier proceso de automatización.

También existen dificultades relacionadas con la integración de diferentes sistemas y equipos. Una terminal puede utilizar tecnologías proporcionadas por diferentes fabricantes, por lo que es necesario garantizar que los equipos y plataformas puedan intercambiar información correctamente. La falta de interoperabilidad puede limitar los beneficios de la automatización.

La calidad de los datos representa igualmente un factor crítico. Los sistemas automatizados dependen de información precisa y actualizada para funcionar correctamente. La existencia de datos fragmentados o sistemas aislados puede dificultar la coordinación de las operaciones. Investigaciones sobre automatización portuaria identifican precisamente la interoperabilidad, la calidad de los datos, las capacidades técnicas y la gestión de excepciones como desafíos relevantes.

La ciberseguridad constituye otro desafío cada vez más importante. Al aumentar la conexión entre equipos físicos, redes y sistemas de información, también aumenta la exposición ante posibles incidentes digitales. Un ataque contra sistemas portuarios puede afectar operaciones críticas, generar retrasos y comprometer información. El Banco Mundial señala que la transformación digital ha convertido a los puertos en ecosistemas interconectados y, al mismo tiempo, ha generado nuevos riesgos de ciberseguridad. (London Maritime Academy, 2025)

Finalmente, la automatización puede generar transformaciones en el mercado laboral. Algunas actividades pueden reducir la necesidad de intervención humana directa, mientras que

surgen nuevas funciones relacionadas con programación, mantenimiento, análisis de datos y supervisión tecnológica. Por ello, la transición debe acompañarse de procesos de capacitación y reconversión profesional que permitan a los trabajadores adaptarse a las nuevas condiciones.

Relación de la automatización con los puertos verdes

La automatización portuaria mantiene una relación directa con el desarrollo de los puertos verdes debido a su capacidad para mejorar la eficiencia de los procesos y contribuir a una utilización más racional de los recursos. La automatización permite controlar y optimizar las operaciones mediante información obtenida en tiempo real, lo que facilita la identificación de ineficiencias y la implementación de medidas correctivas.

Un puerto verde no debe limitarse a utilizar tecnologías avanzadas, sino que debe orientarlas hacia objetivos ambientales concretos. En este sentido, la automatización puede contribuir a reducir emisiones, optimizar el consumo energético, disminuir tiempos de operación y mejorar la gestión de los equipos.

La integración de automatización con IoT, Inteligencia Artificial, Big Data, sensores ambientales y gemelos digitales permite desarrollar sistemas capaces de analizar continuamente el comportamiento del puerto y proponer mejoras. Esta integración favorece la construcción de un ecosistema portuario inteligente en el que las decisiones operativas y ambientales pueden apoyarse en datos. (Moyano, 2021)

(UNCTAD, 2024) plantea que un puerto inteligente y sostenible debe utilizar la tecnología como una herramienta para mejorar simultáneamente su desempeño económico, social y ambiental. Desde esta perspectiva, la automatización adquiere importancia porque puede contribuir tanto a la eficiencia operativa como a la seguridad y al desempeño ambiental.

Por consiguiente, la automatización representa uno de los pilares tecnológicos para avanzar hacia puertos verdes y Smart Ports. Su verdadero valor no se encuentra únicamente en sustituir procesos manuales, sino en crear operaciones conectadas, eficientes y capaces de responder a las necesidades ambientales del sector portuario. La automatización portuaria constituye una transformación tecnológica que integra maquinaria, sistemas digitales, datos y talento humano para mejorar la gestión de las operaciones marítimas y logísticas. Su evolución ha permitido pasar de procesos principalmente manuales y mecanizados hacia terminales capaces de coordinar equipos y actividades mediante sistemas inteligentes.

Los beneficios asociados con la automatización incluyen mejoras en productividad, seguridad, utilización de recursos y eficiencia operativa. Al mismo tiempo, su integración con tecnologías como IoT, Inteligencia Artificial y Big Data permite fortalecer el monitoreo y la toma de decisiones.

Sin embargo, para que la automatización contribuya realmente al desarrollo de puertos verdes, debe implementarse bajo una estrategia integral que considere la eficiencia energética, la reducción de emisiones, la capacitación del personal, la interoperabilidad de los sistemas y la ciberseguridad. De esta manera, la automatización puede convertirse en una herramienta fundamental para alcanzar un modelo portuario más inteligente, competitivo y ambientalmente sostenible.

Gemelos Digitales

Los gemelos digitales representan una herramienta de apoyo para la simulación y optimización de operaciones portuarias. Su aplicación permite conectar información procedente de sensores, equipos y sistemas de gestión con una representación digital de la infraestructura,

facilitando el análisis de diferentes escenarios antes de realizar modificaciones en el entorno físico.

En el ámbito portuario, esta tecnología puede utilizarse para analizar rutas de vehículos, distribución de equipos, utilización de espacios de almacenamiento y tiempos de operación. También puede integrarse con sensores de maquinaria para apoyar estrategias de mantenimiento predictivo. (Saade Hazin, 2026)

El principal resultado consiste en mejorar la capacidad de planificación y reducir la necesidad de experimentar directamente sobre la infraestructura física. Además, el análisis de consumo energético, desplazamiento de vehículos y utilización de equipos permite identificar operaciones ineficientes y evaluar alternativas con menor impacto ambiental.

No obstante, su implementación requiere integrar datos provenientes de diferentes sistemas, garantizar su actualización y seguridad y disponer de sensores, infraestructura digital y personal capacitado. Por ello, los gemelos digitales deben implementarse progresivamente de acuerdo con las capacidades de cada puerto. (Prada, 2022)

Drones

Los drones constituyen una herramienta de apoyo para la vigilancia, inspección de infraestructura y monitoreo ambiental en instalaciones portuarias. Su principal ventaja es la posibilidad de obtener información de zonas extensas o de difícil acceso sin exponer directamente al personal a determinados riesgos.

En los puertos verdes, pueden utilizarse para detectar derrames, inspeccionar muelles y estructuras, monitorear áreas costeras y recopilar información sobre condiciones ambientales. Esta aplicación permite disponer de información con mayor rapidez y facilita la identificación de situaciones que requieren acciones correctivas.

El resultado esperado es una mayor capacidad de vigilancia y una respuesta más oportuna ante incidentes ambientales o de seguridad. Además, el uso de drones puede disminuir la necesidad de emplear maquinaria o personal en determinadas labores de inspección.

Sin embargo, su aplicación presenta limitaciones relacionadas con autonomía de vuelo, condiciones meteorológicas, capacidad de los sensores, regulación del espacio aéreo y procesamiento de la información obtenida. Por ello, los drones deben considerarse una herramienta complementaria y no un sustituto de los sistemas convencionales de monitoreo.(Doerr, 2020)

Figura 7 Drones



Drones y sostenibilidad ambiental en los puertos verdes

La implementación de drones en los puertos verdes constituye una estrategia innovadora para fortalecer la sostenibilidad ambiental y optimizar la gestión de los recursos naturales. Gracias a la incorporación de cámaras de alta resolución, sensores térmicos y tecnologías de geolocalización, los vehículos aéreos no tripulados permiten realizar inspecciones y monitoreos continuos de las instalaciones portuarias sin necesidad de desplegar grandes equipos humanos o maquinaria pesada. Esta capacidad tecnológica contribuye a disminuir el consumo energético y las emisiones asociadas a las actividades de supervisión y control.

En el ámbito ambiental, los drones desempeñan un papel fundamental en la detección temprana de derrames de hidrocarburos, el monitoreo de la calidad del agua, la vigilancia de ecosistemas costeros y la medición de emisiones contaminantes generadas por las operaciones marítimas y terrestres. Asimismo, facilitan la identificación de posibles impactos ambientales derivados del tráfico portuario, permitiendo a las autoridades y operadores adoptar medidas correctivas de manera oportuna para minimizar los efectos sobre el medio ambiente. (C., 2018).

Sensores Ambientales

Los sensores ambientales cumplen una función estratégica dentro de los puertos verdes porque permiten obtener información continua sobre las condiciones ambientales de las operaciones portuarias. Su aplicación permite monitorear variables relacionadas con calidad del aire y agua, ruido, temperatura y emisiones contaminantes.

En términos operativos, los datos obtenidos permiten identificar cambios en las condiciones ambientales y establecer medidas preventivas. Por ejemplo, el monitoreo de gases contaminantes permite detectar variaciones en las emisiones, mientras que los sensores de

calidad del agua pueden apoyar la identificación de alteraciones relacionadas con actividades portuarias.

El principal resultado es una gestión ambiental basada en información en tiempo real, que facilita la detección temprana de riesgos y la toma de decisiones. Cuando los sensores se integran con IoT, Inteligencia Artificial y sistemas automatizados, los datos pueden utilizarse para generar alertas y apoyar respuestas más rápidas.

Su principal limitación está relacionada con la necesidad de calibración, mantenimiento, conectividad y correcta interpretación de los datos. Por tanto, instalar sensores no garantiza por sí mismo una mejora ambiental; es necesario contar con protocolos de respuesta y sistemas capaces de convertir los datos obtenidos en acciones concretas. (Kunak, 2024).

Figuran 8 Sensores Ambientales



Principales tipos de sensores ambientales utilizados en los puertos

Tabla 1

Tipos de Sensores Utilizados en los Puertos

Tipo	Variable monitoreada	Aplicación
Calidad del aire	CO ₂ , NO _x , SO ₂ , partículas	Control de emisiones
Calidad del agua	pH, temperatura, salinidad	Detección de alteraciones
Acústicos	Nivel de ruido	Control de contaminación sonora
Meteorológicos	Viento, humedad, temperatura	Seguridad y planificación
Térmicos/imágenes	Temperatura e imágenes	Detección de anomalías

Sensores de calidad del aire

Estos sensores miden la concentración de gases contaminantes, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado. Su función principal es controlar las emisiones producidas por los buques y equipos portuarios.

Sensores de calidad del agua

Permiten analizar parámetros como el pH, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto y la presencia de sustancias contaminantes. Son fundamentales para detectar derrames de hidrocarburos y proteger los ecosistemas marinos.

Sensores acústicos

Se emplean para medir los niveles de ruido generados por las operaciones portuarias, el tránsito de embarcaciones y la maquinaria pesada, con el fin de minimizar la contaminación sonora.

Sensores meteorológicos

Registran variables climáticas como la velocidad del viento, la humedad, la temperatura y la presión atmosférica, información esencial para planificar las operaciones marítimas y garantizar la seguridad portuaria.

Sensores térmicos y de imágenes

Utilizados en drones y sistemas de vigilancia, permiten detectar anomalías en equipos, incendios, fugas y posibles riesgos ambientales dentro del puerto. (Serrano, 2023).

La incorporación de sensores ambientales favorece el desarrollo de puertos inteligentes y sostenibles, ya que proporciona datos precisos para la toma de decisiones y la implementación de medidas preventivas. Además, facilita el cumplimiento de estándares internacionales relacionados con la protección ambiental y contribuye a la reducción de la huella ecológica del transporte marítimo. Asimismo, la integración de estos dispositivos con tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial y los sistemas de automatización permite optimizar el uso de los recursos y fortalecer la competitividad de las terminales portuaria (Rodrigo González, 2020).

Sistemas Inteligentes

Los sistemas inteligentes constituyen uno de los componentes centrales de la transformación digital de los puertos, debido a que permiten integrar diferentes tecnologías para recopilar, procesar y analizar información relacionada con las operaciones portuarias. A diferencia de una herramienta tecnológica utilizada de manera independiente, un sistema

inteligente combina sensores, redes de comunicación, plataformas digitales, automatización, Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial y análisis de datos para generar información que facilite la supervisión y la toma de decisiones. En el contexto de los puertos verdes, esta integración permite relacionar el desempeño operativo con variables ambientales y energéticas, favoreciendo una gestión orientada simultáneamente a la eficiencia y la sostenibilidad. Esta perspectiva coincide con el contenido del capítulo, donde se plantea que los sistemas inteligentes integran sensores, plataformas digitales, algoritmos de Inteligencia Artificial y redes de comunicación para supervisar operaciones, gestionar recursos y optimizar el flujo de mercancías. (Indra, 2026).

La principal característica de los sistemas inteligentes es su capacidad para transformar los datos generados durante las actividades portuarias en información útil para la gestión. Los sensores instalados en equipos, vehículos, muelles y otras áreas pueden generar información sobre ubicación, funcionamiento, consumo energético, condiciones ambientales y estado de la infraestructura. Estos datos son transmitidos hacia plataformas digitales donde pueden ser almacenados y analizados. A partir de este proceso, los responsables de las operaciones pueden identificar comportamientos anormales, reconocer ineficiencias y tomar decisiones con mayor rapidez. Por esta razón, el valor de los sistemas inteligentes no depende únicamente de la cantidad de datos recopilados, sino de la capacidad de convertirlos en información que pueda utilizarse para mejorar las operaciones.

En las operaciones portuarias, estos sistemas pueden utilizarse para supervisar el movimiento de mercancías, controlar equipos de manipulación, coordinar vehículos y gestionar espacios de almacenamiento. La información obtenida permite conocer en tiempo real el estado de determinados procesos y detectar situaciones que puedan generar retrasos o pérdida de

productividad. Por ejemplo, la integración de sensores con plataformas digitales puede permitir identificar la ubicación de equipos y mercancías, mientras que los sistemas de análisis pueden comparar los tiempos de operación y detectar posibles cuellos de botella. De esta manera, los sistemas inteligentes contribuyen a una gestión más coordinada de los recursos disponibles y pueden apoyar la reducción de tiempos improductivos.

Otro campo de aplicación corresponde al mantenimiento predictivo de los equipos portuarios. La maquinaria utilizada en las terminales genera información relacionada con horas de funcionamiento, temperatura, vibraciones, consumo energético y otras variables. Cuando estos datos son procesados mediante sistemas inteligentes, es posible identificar comportamientos que podrían indicar una futura falla. Esta información permite programar intervenciones antes de que ocurra una avería grave, reduciendo los períodos de inactividad y mejorando la disponibilidad de los equipos. Esta aplicación se relaciona directamente con el desarrollo de los gemelos digitales analizado en el capítulo, donde los datos provenientes de sensores pueden utilizarse para evaluar el estado de la maquinaria y apoyar estrategias de mantenimiento predictivo.

Los sistemas inteligentes también pueden contribuir a la gestión ambiental de los puertos. La integración de sensores ambientales permite recopilar información sobre calidad del aire, calidad del agua, ruido, temperatura y emisiones contaminantes. Estos datos pueden ser procesados por plataformas digitales para identificar variaciones y generar alertas cuando determinados parámetros superen los niveles establecidos. De esta manera, la tecnología puede pasar de una función exclusivamente de monitoreo a una función preventiva, permitiendo que operadores y autoridades actúen oportunamente frente a posibles impactos ambientales. El capítulo señala precisamente que los sistemas inteligentes pueden facilitar el monitoreo

ambiental mediante la recopilación de información sobre aire, agua y ruido, permitiendo implementar medidas preventivas y correctivas.

La eficiencia energética constituye otra área en la que los sistemas inteligentes pueden generar beneficios para los puertos verdes. La información procedente de equipos, vehículos, iluminación, sistemas de refrigeración y otras instalaciones puede utilizarse para identificar patrones de consumo y determinar dónde existen oportunidades de optimización. El análisis de estos datos puede ayudar a establecer horarios de operación más eficientes, reducir consumos innecesarios y detectar equipos que presenten un comportamiento energético anormal. Por tanto, la digitalización puede contribuir indirectamente a la reducción de emisiones cuando las mejoras en eficiencia energética se traducen en un menor consumo de combustibles o electricidad.

La integración con Inteligencia Artificial amplía las capacidades de los sistemas inteligentes. Mientras los sensores permiten recopilar información, los algoritmos pueden analizar grandes cantidades de datos y generar predicciones o recomendaciones. En una terminal portuaria, esto puede utilizarse para anticipar congestiones, optimizar la asignación de recursos, analizar el comportamiento de los equipos y apoyar la planificación de las operaciones. La IA, por tanto, no sustituye necesariamente a los sistemas de información existentes, sino que puede utilizarse como una capa de análisis que permite aprovechar de manera más eficiente los datos generados por las diferentes tecnologías.

De igual manera, los sistemas inteligentes pueden integrar información procedente de diferentes áreas del puerto. La conexión entre equipos de manipulación, vehículos, patios, muelles, sistemas ambientales y plataformas de gestión permite obtener una visión más amplia de las operaciones. Esta integración resulta especialmente importante porque una modificación en una actividad puede afectar a otras áreas de la terminal. Por ejemplo, una demora en la llegada

de un buque puede generar cambios en la programación de equipos, disponibilidad de espacios y circulación de vehículos. Un sistema inteligente puede relacionar estas variables y proporcionar información que permita reorganizar los recursos de acuerdo con las condiciones existentes.

Desde la perspectiva de los puertos verdes, esta integración permite que las decisiones operativas incorporen criterios ambientales. En lugar de evaluar únicamente la productividad o el tiempo de operación, los sistemas pueden considerar variables como consumo energético, emisiones, desplazamientos de vehículos y condiciones ambientales. Esto coincide con la conclusión general del capítulo, donde se establece que la transformación digital puede contribuir a identificar oportunidades para reducir el consumo energético, disminuir emisiones, optimizar desplazamientos y mejorar el seguimiento de las condiciones ambientales.

Beneficios de los sistemas inteligentes en los puertos verdes

La implementación de sistemas inteligentes genera beneficios tanto operativos como ambientales. En el ámbito operativo, permiten mejorar la coordinación de las actividades, optimizar la utilización de equipos y recursos, facilitar el seguimiento de las operaciones y apoyar la toma de decisiones basada en información actualizada. En el ámbito ambiental, permiten monitorear continuamente diferentes variables, identificar posibles impactos y establecer medidas preventivas. El capítulo identifica entre sus principales beneficios el incremento de la eficiencia operativa, la reducción del consumo energético, el control de emisiones, el fortalecimiento de la seguridad y la optimización de la gestión logística.

Otro beneficio importante es la posibilidad de anticiparse a los problemas. Un sistema tradicional puede registrar un problema una vez que este ocurre, mientras que un sistema inteligente puede utilizar datos históricos y en tiempo real para identificar señales que indiquen una posible alteración. Esta capacidad de anticipación puede aplicarse al mantenimiento de

equipos, a la gestión de tráfico, al monitoreo ambiental y a la planificación de recursos. Por tanto, uno de los principales aportes de estas tecnologías consiste en favorecer una transición desde una gestión reactiva hacia una gestión preventiva y predictiva.

Además, los sistemas inteligentes favorecen la toma de decisiones basada en datos. La información generada por sensores, sistemas de gestión, equipos automatizados y plataformas digitales puede ser utilizada para comparar el desempeño de las operaciones y establecer indicadores que permitan evaluar resultados. Esto facilita identificar qué procesos presentan mayores consumos, dónde se producen retrasos y cuáles actividades requieren mejoras. De esta forma, la tecnología puede convertirse en una herramienta para respaldar procesos de mejora continua dentro de las terminales portuarias. (Stickler, 2025).

Caso de estudio: Puerto de Singapur y los sistemas inteligentes en los puertos verdes

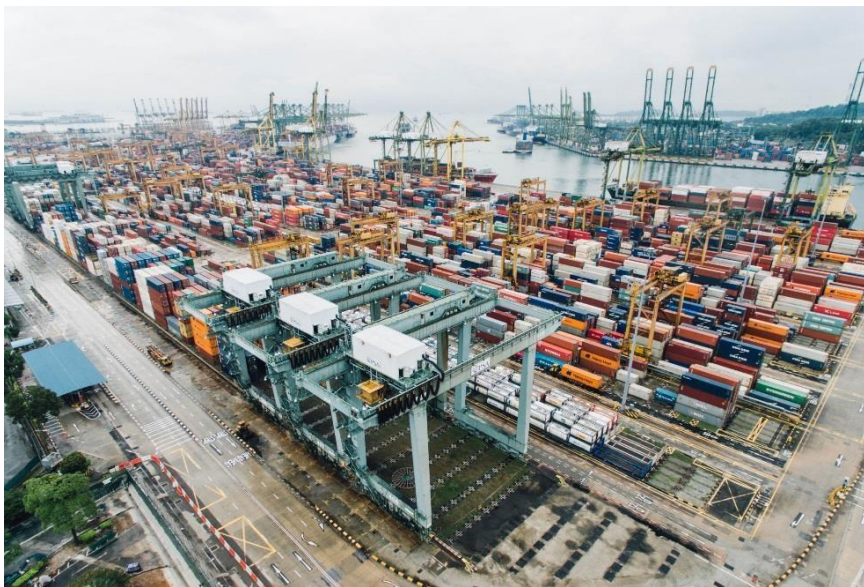
El Puerto de Singapur constituye uno de los principales referentes mundiales en la implementación de sistemas inteligentes y tecnologías sostenibles aplicadas a la gestión portuaria. La modernización de sus terminales, especialmente en el megaproyecto de Tuas, ha permitido integrar herramientas digitales como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT), la automatización y el análisis de datos para optimizar las operaciones logísticas y reducir el impacto ambiental.

Entre las principales innovaciones implementadas se encuentran las grúas automatizadas, los vehículos guiados automáticamente (AGV), los sensores ambientales y las plataformas digitales de gestión portuaria, que facilitan el monitoreo en tiempo real del movimiento de mercancías y mejoran la coordinación entre los diferentes actores de la cadena logística. Además,

el puerto utiliza sistemas inteligentes para disminuir el consumo energético, reducir las emisiones contaminantes y fortalecer la seguridad operativa.

La terminal de Tuas está diseñada para convertirse en uno de los puertos automatizados más grandes del mundo, con capacidad para gestionar millones de contenedores mediante procesos altamente digitalizados y sostenibles. Estas iniciativas forman parte de la estrategia nacional de Singapur para consolidarse como un centro logístico eficiente y ambientalmente responsable. (Balears, 2026).

Figura 9 Puerto de Singapur



Caso de estudio: Puerto de Amberes-Brujas (Bélgica)

El Puerto de Amberes-Brujas se ha consolidado como uno de los principales centros logísticos europeos gracias a la incorporación de tecnologías inteligentes enfocadas en la sostenibilidad y la innovación. Su estrategia de modernización se basa en la digitalización de las

operaciones portuarias, el uso de plataformas de datos y la implementación de sistemas automatizados que permiten gestionar de manera eficiente el transporte marítimo y terrestre.

Como parte de su proceso de transformación, el puerto ha desarrollado herramientas tecnológicas capaces de integrar información procedente de sensores, radares y sistemas de monitoreo distribuidos en toda la terminal. Estos recursos facilitan el control del tráfico marítimo, optimizan el uso de la infraestructura y mejoran la coordinación entre las distintas entidades que participan en la cadena logística. Asimismo, la utilización de modelos digitales contribuye a anticipar problemas operativos y a fortalecer la seguridad de las instalaciones.

En materia ambiental, el Puerto de Amberes-Brujas impulsa proyectos orientados a la reducción de emisiones contaminantes, la transición hacia energías limpias y el uso eficiente de los recursos. Estas iniciativas lo posicionan como un referente internacional en el desarrollo de puertos verdes y en la aplicación de soluciones tecnológicas para alcanzar una actividad portuaria más sostenible y competitiva. (Portal Portuario, 2026).

Figura 10 Puerto de Amberes



Caso de estudio: Puerto de Busan (Corea del Sur)

El Puerto de Busan es uno de los puertos más importantes de Asia y un referente mundial en la adopción de tecnologías inteligentes aplicadas a la gestión portuaria. Con el objetivo de fortalecer su competitividad internacional y promover un modelo de desarrollo sostenible, el puerto ha incorporado sistemas de automatización, inteligencia artificial, Internet de las cosas (IoT) y plataformas digitales para optimizar las operaciones logísticas y mejorar la eficiencia de sus terminales.

Dentro de su estrategia de modernización, el Puerto de Busan ha implementado sistemas automatizados para la carga y descarga de contenedores, así como herramientas de análisis de datos que permiten supervisar el tráfico marítimo y coordinar las actividades portuarias en tiempo real. Además, el uso de sensores inteligentes y tecnologías digitales contribuye al

monitoreo ambiental, la reducción del consumo energético y el fortalecimiento de la seguridad operativa.

La transformación tecnológica del puerto forma parte del proyecto Smart Port, una iniciativa orientada a consolidar un ecosistema logístico más eficiente, sostenible y conectado con las cadenas globales de suministro. Gracias a estas innovaciones, el Puerto de Busan se ha convertido en un modelo de referencia para otros puertos que buscan integrar la digitalización y la sostenibilidad en sus operaciones. (Global Ports, 2026).

Figura 11 Puerto de Busan



Conclusiones del capítulo

La transformación tecnológica de las actividades portuarias constituye un proceso fundamental para responder a las nuevas exigencias del comercio marítimo internacional, caracterizadas por un mayor volumen de mercancías, la necesidad de mejorar la eficiencia

operativa, fortalecer la seguridad y disminuir los impactos ambientales. A lo largo de este capítulo se ha podido evidenciar que la incorporación de tecnologías digitales permite transformar progresivamente los procesos tradicionales de los puertos y avanzar hacia sistemas de operación más automatizados, conectados e inteligentes.

Las tecnologías analizadas, entre ellas la automatización portuaria, los sistemas de información, el Internet de las Cosas, los sensores, los drones, la inteligencia artificial, blockchain y los gemelos digitales, cumplen funciones diferentes, pero pueden complementarse para mejorar la gestión integral de las operaciones. Su aplicación permite obtener información en tiempo real, optimizar el uso de los equipos y recursos, mejorar la coordinación de las actividades y facilitar la toma de decisiones basada en datos. Por tanto, la transformación digital no debe entenderse como la incorporación aislada de determinadas herramientas tecnológicas, sino como un proceso de integración que involucra infraestructura, equipos, sistemas de información y talento humano.

Un aspecto especialmente relevante es la relación entre la transformación digital y el desarrollo de los puertos verdes. La incorporación de tecnologías inteligentes permite no solo incrementar la productividad, sino también identificar oportunidades para reducir el consumo energético, disminuir las emisiones contaminantes, optimizar los desplazamientos de equipos y realizar un mejor seguimiento de las condiciones ambientales. En este sentido, tecnologías como los sensores ambientales, los sistemas de monitoreo y los gemelos digitales pueden contribuir a que las decisiones operativas incorporen criterios de sostenibilidad, fortaleciendo la transición hacia modelos portuarios más eficientes y ambientalmente responsables.

Los casos internacionales analizados, particularmente los desarrollados en puertos como Singapur y Busan, demuestran que la transformación tecnológica puede aplicarse a diferentes escalas y de acuerdo con las características y necesidades de cada instalación. Estas experiencias permiten observar que la innovación tecnológica puede convertirse en un elemento estratégico para mejorar la competitividad portuaria, siempre que esté acompañada de planificación, inversión, capacitación del personal, infraestructura adecuada y una gestión eficiente de los datos.

Sin embargo, la modernización tecnológica también plantea desafíos relacionados con los costos de implementación, la interoperabilidad entre diferentes sistemas, la ciberseguridad, la protección de los datos, la capacitación del talento humano y la necesidad de establecer normas que acompañen el desarrollo tecnológico. Por ello, la digitalización de los puertos debe desarrollarse de manera planificada, considerando tanto los beneficios económicos y operativos como sus implicaciones sociales, ambientales y de seguridad.

En conclusión, la transformación digital representa una oportunidad para construir puertos más inteligentes, eficientes, seguros y sostenibles. La integración de tecnologías emergentes con una adecuada planificación portuaria puede contribuir a mejorar la competitividad y, al mismo tiempo, apoyar los objetivos relacionados con la protección ambiental y la reducción de impactos. El futuro de los puertos dependerá, en gran medida, de su capacidad para aprovechar estas tecnologías de manera estratégica, integrándolas con el conocimiento especializado del personal y con una visión orientada hacia la eficiencia, la innovación y la sostenibilidad.

Cuadro comparativo: Tecnologías para los puertos verdes

Tecnología	Aplicación en el puerto	Beneficio ambiental
Internet de las Cosas (IoT)	Utiliza sensores para monitorear contenedores, grúas, vehículos, consumo energético y emisiones en tiempo real.	Reduce el consumo de energía y permite disminuir emisiones contaminantes mediante un mejor control de los recursos.
Inteligencia Artificial (IA)	Analiza información y realiza predicciones para planificar operaciones, asignar recursos y realizar mantenimiento predictivo.	Optimiza el consumo energético, reduce los tiempos de operación y ayuda a disminuir las emisiones.
Big Data	Analiza grandes cantidades de datos provenientes de sensores, sistemas logísticos, buques y operaciones portuarias.	Permite controlar el consumo energético, emisiones, calidad del aire y residuos para aplicar mejoras ambientales.
Blockchain	Digitaliza documentos, mejora la trazabilidad de mercancías y facilita el intercambio seguro de información.	Disminuye el uso de papel, reduce desplazamientos innecesarios y puede disminuir el consumo de combustible y las emisiones.
Automatización portuaria	Permite controlar grúas, vehículos, patios y movimientos de carga mediante sistemas automatizados.	Reduce desplazamientos innecesarios, optimiza el consumo de recursos y puede disminuir emisiones y consumo energético.

Gemelos Digitales	Crea una representación virtual de instalaciones y procesos para simular operaciones, atraques, almacenamiento y mantenimiento.	Permite probar y optimizar operaciones antes de realizarlas físicamente, reduciendo congestión y uso innecesario de recursos.
Drones	Realizan vigilancia, inspección de infraestructura, monitoreo de emisiones y detección de derrames.	Disminuyen el consumo energético de las labores de supervisión y permiten detectar rápidamente impactos ambientales.
Sensores ambientales	Miden calidad del aire y agua, ruido, emisiones, temperatura y otras variables ambientales.	Permiten detectar contaminación, controlar emisiones y prevenir impactos ambientales.
Sistemas inteligentes	Integran sensores, IA, plataformas digitales y redes de comunicación para supervisar y optimizar las operaciones.	Reducen el consumo energético y las emisiones, además de facilitar el monitoreo ambiental.

PREGUNTAS INTERACTIVAS

1. ¿Qué se entiende por Smart Port o Puerto Inteligente?

- A) Un puerto que utiliza únicamente maquinaria pesada.
- B) **Un puerto que integra tecnologías digitales, sistemas de información y procesos automatizados.**
- C) Un puerto dedicado exclusivamente al transporte de pasajeros.
- D) Un puerto que no utiliza sistemas tecnológicos.

2. ¿Cuál de estas tecnologías permite monitorear equipos, mercancías y variables ambientales?

- A) Blockchain
- B) Big Data
- C) **Internet de las Cosas (IoT)**
- D) Drones

3. ¿Para qué puede utilizarse la Inteligencia Artificial en los puertos inteligentes?

- A) Para eliminar completamente la intervención humana.
- B) **Para realizar predicciones, optimizar recursos y apoyar la toma de decisiones.**
- C) Para reemplazar los sensores ambientales.

D) Para producir documentos físicos.

4. ¿Cuál es uno de los principales beneficios de Blockchain en los puertos inteligentes?

A) Aumentar el uso de documentos físicos.

B) Reducir la trazabilidad de las mercancías.

C) **Mejorar la seguridad documental y la trazabilidad de las mercancías.**

D) Eliminar la comunicación entre los actores logísticos

Bibliografía

(n.d.). Retrieved from nternational Association of Ports and Harbors: IAPH – World Ports Sustainability Program

Atzori L, I. A. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks.

Balears, P. d. (2026, Febrero 2). *El puerto "autónomo": Singapur anticipa el futuro con orquestación portuaria mediante inteligencia artificial*. Retrieved from <https://www.portsdebalears.com/es>

Belmoukari B, A. J. (2023). mart port: A systematic literature review. European Transport Research Review.

C., K. L. (2018, Octubre 31). *La tecnología de drones revoluciona a puertos y terminales*. Retrieved from CAMAE: <https://www.camae.org/digitalizacion-2/la-tecnologia-de-drones-revoluciona-a-puertos-y-terminales/>

- Cazorla, D. C. (2023). *Automatización de terminales marítimas de contenedores*. Santa Cruz de Tenerife.
- Crawford Wright, D. M. (2011). *Evaluación del Sistema Integrado de Operaciones Portuarias de JAPDEVA (SIOPJ) y propuesta de normalización informática*. Universidad de Costa Rica.
- Cukier, V. M.-S. (2013). *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Doerr, O. (2020). *Indicadores portuarios: módulo 3. Indicadores de rendimiento (KPI) para productividad y eficiencia en puertos de América Latina y el Caribe*. .
- Fran Casino, T. K. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. In *A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues*. (pp. 36, 55–81). Telematics and Informatics.
- Fundación Valenciaport. (2020). Manual de puertos inteligentes: Estrategia y hoja de ruta. In K. Lucenti.
- Global Ports. (2026, Febrero 11). *Smart ports: por qué el Puerto de Busan vuelve a ser caso testigo del futuro digital de la logística portuaria*. Retrieved from <https://www.globalports.com.ar/smart-ports-por-que-el-puerto-de-busan-vuelve-a-ser-caso-testigo-del-futuro-digital-de-la-logistica-portuaria/>
- Indra. (2026). *Evolución de Puertos Inteligentes*.
- Kunak. (2024, Marzo 9). *Calidad del aire en los puertos: innovación, sostenibilidad y control inteligente*. Retrieved from <https://kunakair.com/es/calidad-del-aire-en-puertos/>

- Leonard Heilig, E. L. (2017). Digital transformation in maritime ports: Analysis and a game theoretic framework. 227–254.
- London Maritime Academy. (2025, Octubre 11). *Cómo la automatización portuaria está transformando el comercio mundial*. Retrieved from <https://lmitac.com/articles/port-automation-and-its-global-trade-impact>
- Martínez González, A. I. (2025). *Lineamientos para la implementación de vehículos de guiado automático para el transporte autónomo de carga dentro de entornos industriales*. QUITO: Facultad de Mecánica Automotriz. UIDE.
- Moyano, Á. P. (2021). Los puertos inteligentes: elementos para un desarrollo sostenible. . In *Luces en el camino: filosofía y ciencias sociales en tiempos de desconcierto*, 2230-2248.
- Nakamoto, S. (2008, Octubre 31). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Norvig, S. R. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.)*. Pearson.
- OMI. (2023). *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. Retrieved from OMI: <https://www.imo.org/>
- Operinter. (2024). *La automatización de las terminales portuarias en la era de la globalización*. Retrieved from <https://operinter.com/2020/06/10/la-automatizacion-de-las-terminales-portuarias-en-la-era-de-la-globalizacion/>
- Ortiz Ortiz, A. (2025). *Análisis de la eficiencia, uso competitividad de las terminales semiautomatizadas portuarias*. Barcelona: Treball Final de Grau, UPC, Facultat de Nàutica de Barcelona, Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques.
- Paraskevas, A. M. (2024). Retrieved from . Smart ports in Industry 4.0: A systematic literature review: <https://doi.org/10.3390/logistics8010028>

- Portal Portuario. (2026, Marzo 5). *Puertos de Amberes-Brujas respalda Estrategia Portuaria presentada por la Unión Europea*. Retrieved from <https://portalportuario.cl/puertos-de-amberes-brujas-respalda-estrategia-portuaria-presentada-por-la-union-europea/>
- Qi Li, Y. L. (2023). Smart port: A bibliometric review and future research directions. 174, 103098.
- Rodrigo González, A. G.-C. (2020). Preparation of a smart port indicator and calculation of a ranking for the Spanish port system. *Logistics*.
- Saade Hazin. (2026). *Transformación digital portuaria: Sistemas comunitarios portuarios y gemelos digitales*. Retrieved from Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Saade Hazin, M. (2026). *Transformación digital portuaria: sistemas comunitarios portuarios y gemelos digitales (Boletín FAL N.º 412)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). . Repositorio de CEPAL.
- Serrano, M. P. (2023). *Soluciones Sostenibles para los Desafíos Ambientales en los Puertos*. Retrieved from <https://greenquips.com/soluciones-sostenibles-para-los-desafios-ambientales-de-los-puertos/>
- Stickler, C. (2025, Abril 17). *Iniciativa Puertos Verdes: Cómo las operaciones más inteligentes impulsan la sostenibilidad*. Retrieved from <https://www.identecsolutions.com/news/green-ports-initiative-how-smarter-operations-drive-sustainability>
- Tijan E, A. S. (2019). lockchain technology implementation in logistics. *Sustainability*.

- UNCTAD. (2023). *Review of Maritime Transport 2023*. Retrieved from United Nations Conference on Trade and Development: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>
- UNCTAD. (2024). *Review of Maritime Transport 2024. Naciones Unidas*. Retrieved from Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo : <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024>
- UNCTAD. (2019). *Digitalization in maritime transport: Ensuring opportunities for development. United Nations Conference on Trade and Development*.
- World Bank. (2024). Retrieved from Port Reform Toolkit. World Bank.

CAPITULO 5

Transición hacia puertos verdes: experiencias latinoamericanas

Decker Coloma Delia

Choez Figueroa Ricardo Andrés

Rodríguez Silva Claudio Jair

Rosas Cando Jorge Enrique

Resumen

La presente investigación analiza las experiencias exitosas de puertos verdes en América Latina, con el objetivo de identificar estrategias de sostenibilidad portuaria, comparar sus similitudes y diferencias, y evaluar su contribución al desarrollo sostenible. Se examinan casos representativos de Chile (Puerto San Antonio y Puerto de Valparaíso), Colombia (Puerto de Cartagena), Brasil (Puerto de Santos), Panamá (Canal de Panamá), Perú (Puerto del Callao) y Ecuador (Puerto Bolívar, Puerto de Posorja, Puerto de Guayaquil y Puerto de Manta).

Los resultados evidencian que estos puertos han implementado políticas ambientales orientadas a la prevención de la contaminación, protección de ecosistemas marinos y costeros, y cumplimiento de normativas nacionales e internacionales. Destacan la gestión energética mediante eficiencia, modernización de equipos, iluminación LED y reducción de emisiones de carbono; la gestión integral de residuos con clasificación, reciclaje, economía circular y recepción de desechos de buques conforme al Convenio MARPOL; así como certificaciones como ISO 14001, ISO 9001, ISO 45001, Código PBIP (ISPS) y programas de Huella de Carbono.

Estas iniciativas han permitido reducir impactos ambientales, optimizar operaciones, fortalecer la competitividad y generar una cultura de responsabilidad ambiental, demostrando que es posible equilibrar el crecimiento del comercio marítimo con la protección del medio ambiente y el bienestar de las comunidades. Los puertos analizados se consolidan como referentes de sostenibilidad en la región y contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Abstract

This research analyzes successful green port experiences in Latin America, aiming to identify sustainability strategies, compare similarities and differences, and evaluate their contribution to sustainable development. Representative cases from Chile (Port of San Antonio and Port of Valparaíso), Colombia (Port of Cartagena), Brazil (Port of Santos), Panama (Panama Canal), Peru (Port of Callao), and Ecuador (Port of Bolívar, Port of Posorja, Port of Guayaquil, and Port of Manta) are examined.

Findings show that these ports have implemented environmental policies focused on pollution prevention, protection of marine and coastal ecosystems, and compliance with national and international regulations. Key practices include energy management through efficiency measures, equipment modernization, LED lighting, and carbon emission reduction; comprehensive waste management with classification, recycling, circular economy approaches, and reception of ship-generated waste in accordance with the MARPOL Convention; as well as certifications such as ISO 14001, ISO 9001, ISO 45001, the ISPS Code, and Carbon Footprint programs.

These initiatives have reduced environmental impacts, optimized operations, strengthened competitiveness, and fostered a culture of environmental responsibility, demonstrating that it is possible to balance the growth of maritime trade with environmental protection and community well-being. The analyzed ports stand as regional benchmarks of sustainability and contribute to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs).

Introducción

Hoy en día, el auge del comercio internacional y el transporte marítimo han convertido a los puertos en piezas clave para el desarrollo económico. Sin embargo, este crecimiento genera serios problemas ambientales: contaminación del aire y del agua, emisiones de gases de efecto invernadero, ruido, alto consumo energético y residuos. Ante esta realidad surge el concepto de Puertos Verdes, un modelo que busca equilibrar el progreso económico con el cuidado del medio ambiente mediante operaciones más limpias, eficientes y sostenibles.

Los Puertos Verdes aplican políticas y tecnologías para minimizar su impacto: energías renovables, eficiencia energética, reducción de emisiones de carbono, gestión de residuos y protección de ecosistemas marinos y costeros. También fomentan la innovación, el cumplimiento de normas ambientales internacionales y la participación de todos los actores del sector.

En Latinoamérica, países como Chile, Colombia, Brasil, México, Panamá y Perú impulsan proyectos de modernización, electrificación de equipos, monitoreo de emisiones y tecnologías inteligentes. Estas iniciativas demuestran que es posible fortalecer la competitividad portuaria sin descuidar la protección del entorno natural.

Objetivo General

1. Analizar experiencias exitosas de sostenibilidad portuaria en América Latina.

Objetivos Específicos

1. Examinar las estrategias de sostenibilidad portuaria en América Latina para identificar sus principales características.
2. Comparar las experiencias exitosas de sostenibilidad portuaria para reconocer sus similitudes y diferencias.
3. Evaluar las buenas prácticas de sostenibilidad portuaria para determinar su contribución al desarrollo sostenible.

Diseño Metodológico para la Selección, Análisis y Comparación de Casos

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó una metodología descriptiva, documental y comparativa, debido a que el estudio busca conocer, describir y comparar las experiencias de diferentes puertos de Latinoamérica en relación con el desarrollo de prácticas sostenibles y ambientales. También nos permitió recopilar información sobre las acciones que cada puerto ha implementado para disminuir los impactos generados por sus operaciones, mejorar el uso de los recursos naturales y fortalecer su gestión ambiental. Además, permitió analizar de manera organizada las diferencias y similitudes existentes entre los casos seleccionados.

Enfoque y Tipo de Investigación

El enfoque descriptivo permitió explicar las características, políticas y estrategias ambientales aplicadas en cada puerto, sin modificar las condiciones de los casos estudiados. Por otro lado, el enfoque documental permitió obtener información a partir de fuentes oficiales, informes institucionales, documentos técnicos, publicaciones especializadas y organismos relacionados con el sector portuario y ambiental. Finalmente, el enfoque comparativo permitió establecer semejanzas y diferencias entre los puertos, identificando cuáles presentan mayores avances en aspectos como eficiencia energética, manejo de residuos, innovación y reducción de impactos ambientales.

La investigación también permitió relacionar las diferentes prácticas ambientales con el concepto de Puerto Verde, entendiendo este como un modelo de gestión portuaria que busca combinar la eficiencia de las operaciones comerciales con la protección del medio ambiente. Por esta razón, no solamente se consideró la existencia de políticas o certificaciones, sino también las acciones realizadas y los resultados obtenidos. De esta manera, se buscó determinar qué

experiencias presentan prácticas que pueden servir como referencia para otros puertos de la región.

Diseño de la Investigación

La investigación presenta un diseño no experimental y documental, debido a que no se manipularon variables ni se intervino directamente en las operaciones de los puertos estudiados.

La información recopilada fue organizada de acuerdo con dimensiones comunes, lo que permitió analizar y comparar las prácticas ambientales, energéticas, tecnológicas y de gestión desarrolladas en cada caso.

Criterios de Selección

Los casos fueron seleccionados considerando la importancia portuaria, económica y ambiental de cada terminal. Se tomaron en cuenta aspectos como su participación en el comercio marítimo internacional, ubicación estratégica, capacidad operativa y existencia de programas de sostenibilidad. También se consideró la implementación de medidas relacionadas con eficiencia energética, manejo de residuos, reducción de emisiones, protección de ecosistemas y utilización de tecnologías limpias.

Además, se tomó como criterio la disponibilidad de información confiable y verificable, priorizando puertos que publican información sobre sus políticas ambientales, certificaciones, indicadores y resultados. Esto permitió realizar una comparación más equilibrada entre los diferentes casos.

Países Seleccionados

La investigación comprende Chile, Colombia, Brasil, Panamá, Perú y Ecuador, seleccionados por la importancia de sus actividades portuarias y por contar con experiencias relacionadas con la sostenibilidad. Se analizaron Puerto San Antonio y Puerto Valparaíso en

Chile, Puerto Cartagena en Colombia, Puerto de Santos en Brasil, el Canal de Panamá en Panamá, Puerto del Callao en Perú, y Puerto Bolívar, Puerto Posorja, Puerto de Guayaquil y Puerto de Manta en Ecuador.

La inclusión de diferentes países permitió observar distintos modelos de gestión y conocer cómo las características económicas, geográficas y ambientales influyen en el desarrollo de los puertos verdes. Además, los casos ecuatorianos permitieron establecer una comparación directa con las experiencias internacionales estudiadas.

Fuentes Utilizadas

La información fue obtenida mediante una revisión documental, utilizando principalmente fuentes oficiales y especializadas. Se consultaron páginas web de autoridades portuarias, empresas operadoras, organismos gubernamentales y organizaciones internacionales relacionadas con el transporte marítimo y la protección ambiental.

También se revisaron informes de sostenibilidad, informes ambientales, documentos técnicos, memorias institucionales, normas internacionales y publicaciones especializadas. Se priorizaron fuentes que proporcionaran información concreta sobre las acciones ambientales y los resultados obtenidos por cada puerto.

Dimensiones de Análisis

Para garantizar que la comparación entre los casos fuera homogénea se establecieron seis dimensiones de análisis:

Políticas ambientales: Prevención de la contaminación, protección de ecosistemas, cumplimiento de normas y cambio climático.

Gestión energética: Eficiencia energética, reducción del consumo, electrificación y energías renovables.

Manejo de residuos: Clasificación, reciclaje, reutilización, tratamiento y disposición final.

Innovación: Digitalización, automatización, tecnologías limpias y modernización de equipos.

Certificaciones ambientales: ISO 14001, EcoPorts y otros reconocimientos ambientales.

Indicadores ambientales: Emisiones, consumo energético, residuos, calidad del agua y aire, y huella de carbono.

Resultados obtenidos Reducción de emisiones, ahorro energético, reciclaje, protección ambiental y eficiencia operativa.

Sistema de Valoración Comparativa

Tabla 1

Escala de valoración del nivel de sostenibilidad portuaria

Valor	Nivel	Criterio general
1	Inicial	No se evidencia una estrategia o existen acciones aisladas
2	En desarrollo	Existen programas o iniciativas, pero su aplicación es parcial
3	Avanzado	Existe una gestión estructurada con programas, seguimiento o resultados verificables
4	Consolidado	Existe una gestión integral, indicadores, resultados demostrables y procesos de mejora continua

Nota. La escala permite valorar el nivel de desarrollo de las prácticas de sostenibilidad identificadas en los casos analizados. La puntuación más alta representa un mayor grado de consolidación de la gestión sostenible.

Desarrollo

Chile

Puerto San Antonio

Caracterización

El Puerto de San Antonio, ubicado en la Región de Valparaíso, constituye uno de los principales puertos del país y desempeña un papel estratégico en el desarrollo económico y comercial nacional. Su evolución está estrechamente vinculada con el crecimiento del comercio marítimo y la expansión de la infraestructura portuaria nacional. Asimismo, la actividad portuaria ha contribuido al desarrollo de la ciudad de San Antonio y ha generado una estrecha relación entre el puerto y la comunidad local. (Puerto San Antonio, 2020)

Además de su importancia económica, el Puerto de San Antonio ha incorporado la sostenibilidad como uno de los componentes de su gestión institucional. Su estrategia busca que el crecimiento de las operaciones portuarias sea compatible con la protección del medio ambiente y con una relación adecuada con la comunidad. Para ello desarrolla programas relacionados con eficiencia energética, reducción de emisiones, manejo de residuos y prevención de impactos ambientales.

Figura 1

Puerto de San Antonio



Nota. Imagen tomada de South Pacific Logistics (2022).

Políticas ambientales

Las políticas ambientales del Puerto San Antonio buscan integrar la actividad portuaria con la protección del entorno. Para ello, se consideran medidas destinadas a prevenir, controlar y reducir los posibles impactos asociados a las operaciones sobre componentes como el agua, el aire y el suelo, además de otros elementos del entorno natural. (Puerto San Antonio, 2025)

Una de las iniciativas más importantes es el Acuerdo de Producción Limpia (APL) de la Comunidad Logística de San Antonio (COLSA), mediante el cual diferentes empresas y actores de la cadena logística trabajan conjuntamente en objetivos ambientales. Este acuerdo incorpora acciones relacionadas con la reducción de emisiones, eficiencia energética, gestión de residuos, medición de la huella de carbono y aplicación de mejores técnicas disponibles. De esta manera, la política ambiental no se limita únicamente a la administración del puerto, sino que busca involucrar a los distintos participantes de la actividad logística.

Figura 2

Iniciativa de carbono neutralidad en instalaciones logísticas de Sitrans en San Antonio



Nota. Tomado de *Sitrans San Antonio primer terminal logístico carbono neutral de Chile*, 2024, MundoMarítimo (<https://mundomaritimo.cl/noticias/sitrans-san-antonio-primer-terminal-logistico-carbono-neutral-de-chile>).

Gestión energética

La gestión energética de Puerto San Antonio busca disminuir el consumo de energía y utilizar los recursos energéticos de una manera más eficiente. Para alcanzar este objetivo, se han

implementado medidas de eficiencia energética en instalaciones y espacios vinculados con la actividad portuaria. Entre ellas destaca la sustitución de sistemas de iluminación convencionales por tecnología LED, que permite mantener niveles adecuados de iluminación utilizando una menor cantidad de electricidad.

Según Puerto San Antonio (2025), las medidas implementadas mediante el APL permitieron reducir en un 35 % el gasto energético, como resultado de acciones relacionadas con iluminación eficiente, control de combustibles, optimización de espacios y gestión de residuos.

Manejo de residuos

El manejo de residuos en el Puerto San Antonio busca principalmente reducir la cantidad de desechos generados y asegurar que aquellos que se producen sean clasificados, almacenados, reciclados o eliminados de manera adecuada. Dentro de sus programas ambientales se contempla la separación de residuos según sus características y la implementación de sistemas que permiten conocer cuánto material se genera y cuál es su destino. Esto facilita el control de los residuos y permite identificar oportunidades para aumentar su reutilización y reciclaje. (Empresa Océano, 2026)

También se han implementado puntos limpios y acciones de valorización de materiales, permitiendo recuperar residuos que pueden ser aprovechados nuevamente. Un ejemplo es el trabajo desarrollado para la recuperación de neumáticos fuera de uso, que busca evitar que estos materiales terminen en lugares de disposición inadecuados. Además, dentro del APL se considera el seguimiento de residuos peligrosos y no peligrosos, registrando información sobre su generación, transporte y destino final.

Innovación

El Puerto San Antonio ha desarrollado iniciativas de innovación portuaria orientadas a la

digitalización, automatización y sostenibilidad. El Port Community System (PCS), implementado por Indra desde diciembre de 2023, centraliza el intercambio de información en tiempo real entre todos los actores portuarios, sistematizando millones de mensajes que antes se realizaban en papel o teléfono. Su implementación total está prevista para el primer semestre de 2026.

AntonIA, asistente virtual inteligente lanzado en agosto de 2025, se conecta con la aplicación digital ASATruck, que los camiones de exportación utilizan para validar sus atributos operativos antes de ingresar al puerto. La combinación de ambos sistemas garantiza fluidez, trazabilidad y eficiencia operativa, beneficiando tanto a los transportistas como a los equipos en terreno.

El gerente general de Puerto San Antonio, Ramón Castañeda, destacó que “este sistema, denominado AntonIA, es un avance que hemos logrado en el marco de la estrategia de innovación de los procesos logísticos del puerto y sobresale por su facilidad de uso. La automatización de las comunicaciones ha permitido acelerar la operación en tiempo real y agilizar la toma de decisiones”. (Puerto San Antonio , 2025)

Certificaciones y Normas

ISO 14001: Puerto San Antonio cuenta con la certificación de su Sistema de Gestión Ambiental conforme a la norma ISO 14001, renovada en diciembre de 2025 por Lloyd’s Register. (PortalPortuario, 2025)

Programa HuellaChile: En marzo de 2025, el Puerto San Antonio obtuvo el Sello de Excelencia HuellaChile, el máximo reconocimiento del programa del Ministerio del Medio Ambiente. (Mundomaritimo c.l, 2025)

Acuerdo de Producción Limpia (APL): en junio de 2024 se certificó la renovación del Acuerdo de Producción Limpia de la Comunidad Logística de San Antonio (COLSA), con una vigencia adicional de dos años y participación de distintos actores vinculados al sistema logístico-portuario.

Tabla 2

Indicadores ambientales

Indicador	Qué mide	Importancia
Consumo de electricidad	Electricidad utilizada en las instalaciones y operaciones	Permite identificar oportunidades de ahorro y mejorar la eficiencia energética.
Consumo de combustibles	Cantidad de combustibles utilizados en equipos y maquinarias	Permite controlar el consumo de combustibles y las emisiones asociadas.
Emisiones de gases de efecto invernadero	Cantidad de gases de efecto invernadero generados por las actividades	Permite cuantificar las emisiones y establecer medidas para reducir el impacto climático.
Generación de residuos	Cantidad de residuos generados durante las actividades portuarias	Facilita el control, manejo y reducción de los residuos generados.
Residuos valorizados	Cantidad de materiales recuperados y destinados a procesos de reciclaje o valorización	Permite evaluar el aprovechamiento de materiales y contribuir a la economía circular.
Consumo de agua	Cantidad de agua utilizada en las instalaciones	Permite controlar el uso del recurso hídrico y promover su consumo responsable.

Nota. Adaptado de *Memoria Integrada 2024*, por Empresa Portuaria San Antonio, 2024, pp. 4, 16-18, 26, 30-31, 35 (<https://empresasestatales.gob.cl/informacion-por-empresa?id=12&mem=188&r=9104>).

Resultados y Análisis de la Experiencia

La experiencia de Puerto San Antonio evidencia que la incorporación de criterios de sostenibilidad en la gestión portuaria requiere una actuación articulada entre las políticas ambientales, la eficiencia energética, la gestión de residuos, la innovación tecnológica y la participación de los diferentes actores de la cadena logística. En este caso, las acciones implementadas no se limitan a medidas aisladas, sino que forman parte de un proceso orientado al seguimiento del desempeño ambiental y a la mejora continua.

Entre los principales resultados se identifica la reducción del gasto energético asociada a las medidas implementadas en el marco del Acuerdo de Producción Limpia (APL), así como el

fortalecimiento de la gestión de residuos, la medición de la huella de carbono y el seguimiento de indicadores ambientales. Asimismo, la incorporación de herramientas digitales como el Port Community System (PCS) y AntonIA evidencia el uso de la innovación tecnológica como mecanismo para mejorar la coordinación, la trazabilidad y la eficiencia de las operaciones portuarias.

A partir de estos resultados, se pueden identificar tres condiciones relevantes para el desarrollo de la experiencia. La primera corresponde a la coordinación entre los diferentes actores del sistema logístico-portuario, particularmente mediante el APL de la Comunidad Logística de San Antonio. La segunda se relaciona con el establecimiento de objetivos ambientales medibles, respaldados por indicadores de energía, combustibles, residuos, agua y emisiones. La tercera corresponde al uso de la innovación y la digitalización como herramientas de apoyo a la eficiencia operacional y ambiental.

Sin embargo, la transferencia de estas prácticas no debería realizarse como una reproducción directa del modelo chileno. Su aplicación en Ecuador requiere considerar las características institucionales, normativas, económicas, tecnológicas y operativas de cada puerto. Por tanto, la principal lección de Puerto San Antonio no radica únicamente en las tecnologías o programas implementados, sino en la articulación de políticas, actores, indicadores y mecanismos de mejora continua para avanzar hacia un modelo de gestión portuaria más sostenible.

Puerto Valparaíso

Caracterización

El Puerto Valparaíso está ubicado en la ciudad de Valparaíso, en la Región de Valparaíso,

Chile, y es uno de los principales puntos de conexión marítima del país con los mercados internacionales. Es administrado por la Empresa Portuaria Valparaíso y desarrolla actividades relacionadas con la transferencia de carga, recepción de naves y coordinación de operaciones logísticas. Además de su importancia para el comercio exterior, mantiene una estrecha relación con la ciudad y su entorno, por lo que su desarrollo considera aspectos económicos, sociales, ambientales e institucionales. (Puerto Valparaíso, 2025)

Figura 3

Infraestructura y operaciones de la Empresa Portuaria Valparaíso



Nota. Es el puerto con mayor llegada de pasajeros del país y el segundo con mayor movimiento de contenedores. Tomado de *Terminal Portuario Valparaíso*, por TPV, 2023 (<https://tpvsa.com/>)

En materia ambiental, Puerto Valparaíso ha trabajado durante varios años para avanzar hacia un modelo de puerto sostenible y puerto verde. Su estrategia considera la protección del medio ambiente, el uso responsable de los recursos naturales, la eficiencia energética y la reducción de los impactos producidos por las actividades portuarias. La empresa publica reportes de sostenibilidad e informes integrados para comunicar sus avances y resultados a sus grupos de interés.

Políticas Ambientales

Las políticas ambientales de Puerto Valparaíso buscan identificar, prevenir y reducir los impactos negativos que pueden producir sus actividades sobre el medio ambiente. Entre los

aspectos considerados se encuentran la protección del aire, agua, fauna marina, uso eficiente de la energía, desarrollo portuario sostenible y relación con la comunidad. Esta visión permite que la gestión ambiental sea incorporada dentro de la planificación general de la empresa.

La empresa también cuenta con una Política Integrada del Sistema de Gestión, en la que se reconoce la importancia del medio ambiente junto con la calidad y la seguridad y salud ocupacional. Además, utiliza herramientas para identificar aspectos e impactos ambientales y determinar las medidas de control necesarias. Otro elemento importante es la incorporación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en sus reportes y planificación. Esto permite relacionar las acciones del puerto con objetivos internacionales relacionados con agua, energía, trabajo, desarrollo económico y protección ambiental. (Empresa Oceano, 2026)

Figura 4

Sello de Cuantificación de Gases de Efecto Invernadero de HuellaChile



Nota. Tomado de *Medio Ambiente y Protección del Entorno*, por Empresa Portuaria Valparaíso, 2024, p. 2 (puertovalparaiso.cl)

Gestión energética

La gestión energética de Puerto Valparaíso está orientada a promover un uso eficiente y responsable de la energía dentro de sus instalaciones y en la cadena logística portuaria. La empresa considera el consumo energético como uno de los aspectos ambientales que deben ser monitoreados y controlados para disminuir el impacto de sus operaciones.

Entre las medidas desarrolladas se encuentran acciones para disminuir el consumo de electricidad y gas, además de iniciativas destinadas a optimizar el uso de los recursos en sus instalaciones. En su Plan de Sostenibilidad también se han registrado reducciones en el uso de agua, electricidad y gas. Estas medidas permiten disminuir costos operacionales y, al mismo tiempo, reducir las emisiones asociadas al consumo de energía.

Francisco González, subgerente de Gestión de Activos de TPS, comenta que “optamos por certificarnos en esta exigente norma porque es una gran herramienta para gestionar la energía que usamos en las operaciones del Terminal, y de esta manera seguimos avanzando en la reducción de nuestra huella de carbono mediante un uso más eficiente de los recursos que requiere un Terminal como TPS para su funcionamiento”. (Terminal Pacífico Sur Valparaíso, 2024)

Manejo de residuos

El manejo de residuos forma parte de la gestión ambiental de Puerto Valparaíso y contempla el control de los residuos generados por las actividades de la empresa y sus instalaciones. Dentro de su sistema de gestión ambiental se consideran tanto los residuos sólidos como los residuos peligrosos, buscando evitar que estos puedan producir contaminación del suelo, agua u otros componentes del entorno.

El puerto también ha incorporado acciones para mejorar la gestión y reducción de residuos. Dentro de su Plan de Sostenibilidad se reportan avances relacionados con una mejor gestión de residuos, junto con otras medidas de eficiencia en el uso de recursos. La gestión de residuos se complementa con la medición de las emisiones indirectas asociadas al tratamiento y disposición de residuos. Esto permite que el puerto no solamente controle la cantidad de residuos generados, sino que también considere su impacto dentro de la evaluación de su huella de

carbono. (Puerto Valparaíso, 2025)

Innovación

La innovación en Puerto Valparaíso está relacionada con la modernización de sus procesos, digitalización de las operaciones y utilización de nuevas herramientas para mejorar la eficiencia del sistema portuario. Un ejemplo importante es el Port Community System (PCS) Silogport, plataforma que facilita el intercambio de información y la coordinación entre diferentes actores de la comunidad logística portuaria. Su modernización ha permitido mejorar la eficiencia de los procesos de coordinación.

La innovación también se aplica a la planificación y desarrollo futuro de la infraestructura portuaria. El Plan Maestro de Puerto Valparaíso, actualizado en 2023, establece una visión de desarrollo hasta 2043 y considera las áreas marítimas y terrestres necesarias para el crecimiento futuro del puerto. Esta planificación busca compatibilizar el crecimiento de la actividad portuaria con las características del territorio y sus necesidades ambientales y sociales.

Certificaciones y Normas

ISO 14001:2015. Sistema de Gestión Ambiental de la Empresa Portuaria Valparaíso (EPV), orientado al control de los aspectos e impactos ambientales asociados a sus actividades.

ISO 50001. Sistema de Gestión de la Energía implementado en Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPS), orientado a mejorar el desempeño energético y promover un uso más eficiente de los recursos.

Sello de Cuantificación HuellaChile. Reconocimiento otorgado por la cuantificación de gases de efecto invernadero conforme a la NCh-ISO 14064. La EPV obtuvo este reconocimiento para los períodos 2022, 2023 y 2024, mientras que TPS lo obtuvo para 2020 y 2025.

Sello Verde IE. Reconocimiento asociado al uso de energía proveniente de fuentes renovables, otorgado a TPS por IMELSA Energía y Deloitte durante los años 2021, 2022 y 2023.

Certificación ISPS. Certificación relacionada con la aplicación del Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias, renovada por EPV.

Tabla 3

Indicadores ambientales

Indicador ambiental	Qué mide	Importancia
Consumo de electricidad	Cantidad de electricidad utilizada en las instalaciones y operaciones portuarias.	Permite evaluar el uso eficiente de la energía e identificar oportunidades para reducir el consumo y las emisiones asociadas.
Consumo de combustibles	Cantidad de combustibles utilizados por vehículos, maquinaria y equipos portuarios.	Permite controlar el uso de combustibles fósiles y establecer medidas para disminuir el consumo y las emisiones contaminantes.
Emisiones de gases de efecto invernadero	Cantidad de gases de efecto invernadero generados por las actividades portuarias, expresada generalmente en toneladas de CO ₂ equivalente.	Permite conocer la huella de carbono de las operaciones y evaluar acciones para reducir el impacto sobre el cambio climático.
Generación de residuos	Cantidad de residuos generados por las actividades administrativas y operativas del puerto.	Permite evaluar la eficacia de la gestión de residuos y prevenir impactos negativos sobre el suelo, el agua y el entorno.
Residuos reciclados	Cantidad de materiales recuperados y destinados a procesos de reciclaje.	Permite medir el aprovechamiento de materiales y contribuir a la reducción de residuos enviados a disposición final.
Residuos electrónicos reciclados	Cantidad de equipos y materiales eléctricos y electrónicos recuperados para su reciclaje o tratamiento.	Contribuye a evitar la disposición inadecuada de componentes potencialmente contaminantes y favorece la economía circular.
Consumo de agua	Cantidad de agua utilizada en las instalaciones, oficinas y servicios portuarios.	Permite controlar el uso del recurso hídrico, detectar oportunidades de ahorro y promover una gestión responsable del agua.

Nota. Adaptado de Medio Ambiente y Protección del Entorno, por Empresa Portuaria Valparaíso, 2024, (https://www.puertovalparaiso.cl/epv/site/docs/20240404/20240404165521/1604679005_medioambienteyprotecciondelentorno.pdf).

Resultados y Análisis de la Experiencia

La experiencia de Puerto Valparaíso evidencia un proceso de incorporación de criterios de sostenibilidad en la gestión portuaria, mediante acciones relacionadas con la protección ambiental, el uso eficiente de los recursos, la gestión de residuos y la reducción de emisiones.

Estas medidas se apoyan en sistemas de gestión ambiental y energética, así como en el seguimiento de indicadores que permiten evaluar el desempeño de las operaciones.

Entre los principales resultados se destaca la medición de la huella de carbono mediante HuellaChile, junto con acciones orientadas a reducir el consumo de electricidad, agua y gas. También se han desarrollado medidas para mejorar la gestión de residuos, incluyendo el reciclaje de materiales y residuos electrónicos. Estas iniciativas permiten identificar impactos ambientales y establecer oportunidades de mejora dentro de la gestión portuaria.

Otro aspecto relevante es la incorporación de la innovación y la digitalización mediante el PCS Silogport, herramienta que facilita el intercambio de información entre los actores de la comunidad logística portuaria y contribuye a mejorar la eficiencia de los procesos. A partir de la experiencia analizada, se identifican tres elementos que favorecen la sostenibilidad portuaria: la integración de la gestión ambiental en la planificación institucional, el seguimiento sistemático mediante indicadores y la incorporación de tecnologías orientadas a mejorar la eficiencia operacional. La combinación de estos elementos permite superar un enfoque basado exclusivamente en acciones ambientales aisladas y avanzar hacia un modelo de gestión integral.

Sin embargo, estas prácticas no deben trasladarse directamente a otros puertos, ya que su aplicación depende de las condiciones institucionales, normativas, tecnológicas y operativas de cada país. En el caso de Ecuador, la principal enseñanza de Puerto Valparaíso es la necesidad de combinar gestión ambiental, eficiencia de recursos, medición de resultados e innovación para fortalecer progresivamente la sostenibilidad portuaria.

Puerto de Cartagena (Colombia)

Caracterización

El Puerto de Cartagena es uno de los principales puertos de Colombia y del Caribe,

ubicado en la bahía de Cartagena, en el departamento de Bolívar. Su infraestructura está conformada por muelles especializados, patios de almacenamiento, bodegas y equipos como grúas pórtico STS, grúas RTG y reach stackers, que permiten atender principalmente operaciones de carga contenerizada, carga general y graneles sólidos. La actividad portuaria es desarrollada principalmente por la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena (SPRC) y la Terminal de Contenedores de Cartagena (Contecar). Además de su importancia para el comercio exterior, el puerto incorpora criterios de sostenibilidad en sus operaciones mediante el uso eficiente de recursos, el control de impactos ambientales, la gestión de residuos y el seguimiento de indicadores relacionados con el consumo de agua, energía y calidad ambiental. (Puerto de Cartagena, 2025)

Figura 5

Puerto de Cartagena



Nota. El Puerto de Cartagena es considerado uno de los recintos de contenedores más eficientes de Latinoamérica, según la segunda edición del *Container Port Performance Index (CPPI)*, elaborado por el Banco Mundial y S&P Global Market Intelligence (Banco Mundial & S&P Global Market Intelligence, 2024).

Políticas ambientales

Las políticas ambientales del Puerto de Cartagena están orientadas a prevenir y reducir los impactos derivados de las actividades portuarias, promoviendo el uso responsable de los recursos naturales y una adecuada gestión de los residuos. Entre sus principales acciones se

encuentran el monitoreo de la calidad del agua y del aire, la prevención de incidentes que puedan generar afectaciones ambientales, la implementación de programas de reciclaje y la gestión selectiva de residuos. Asimismo, se contempla la recepción y manejo adecuado de los residuos generados por los buques mediante instalaciones autorizadas, con el propósito de evitar su disposición inadecuada y proteger el entorno marino y terrestre. (Puerto de Cartagena, 2025)

Gestión energética

El Grupo Puerto de Cartagena desarrolla acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones asociadas a sus operaciones. Entre las principales medidas se encuentran la instalación de luminarias LED, el uso de equipos de mayor eficiencia, la implementación de sistemas de telemedición y el aprovechamiento de energías renovables. En este marco, el grupo adquirió certificados de energía renovable y avanzó en la instalación de aproximadamente 6.000 paneles solares, los cuales contribuyen a la generación de electricidad para sus operaciones. Estas iniciativas permiten optimizar el consumo energético y disminuir progresivamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

Figura 6

Energía renovable



Nota. Adaptado de Energía renovable: un salto a la transformación, por Puerto de Cartagena, 2025.

Manejo de residuos

El Puerto de Cartagena aplica medidas para reducir, separar, aprovechar y disponer

adecuadamente los residuos generados por sus actividades. Para ello, cuenta con sistemas de recolección selectiva y procesos de clasificación, almacenamiento, reciclaje y reutilización, incluyendo programas basados en las 4R. Los residuos peligrosos son gestionados mediante operadores autorizados, mientras que los residuos generados por los buques son recibidos a través de instalaciones destinadas a su manejo, de acuerdo con los procedimientos establecidos para este tipo de desechos. Estas acciones buscan prevenir la contaminación y promover una gestión responsable de los residuos dentro de las instalaciones portuarias. (Puerto de Cartagena, 2025)

Innovación

El Puerto de Cartagena impulsa un proceso de transformación digital orientado al desarrollo de un modelo de puerto 4.0, mediante proyectos destinados a mejorar la eficiencia, trazabilidad y coordinación de las operaciones portuarias. Entre las principales iniciativas se encuentran plataformas digitales para integrar los procesos de la comunidad portuaria, automatizar actividades de control y facilitar la gestión administrativa. Además, se incorporan tecnologías como blockchain, sensores, automatización de procesos, gemelos digitales y sistemas inteligentes de gestión, contribuyendo a una operación más eficiente, conectada y sostenible.

Certificaciones y normas

ISO 14001:2015. Sistema de Gestión Ambiental certificado para ambos terminales portuarios (SPRC y Contecar), orientado al control de los aspectos e impactos ambientales asociados a sus actividades.

ISO 9001. Sistema de Gestión de Calidad implementado en el Grupo Puerto de Cartagena.

ISO 45001. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

BASC. Certificación de seguridad en la cadena de suministro.

PBIP/ISPS. Certificación relacionada con la aplicación del Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias.

Tabla 4

Indicadores ambientales

Indicador	Valor	Importancia
Consumo de agua	-33,88 % (2021)	Muestra una reducción en el uso del recurso hídrico.
Electricidad renovable	53.792 MWh(2021)	Refleja el uso de energía proveniente de fuentes renovables.
Generación solar	1,88 millones de kWh/año (2021)	Contribuye a reducir el consumo de energía convencional.
Emisiones de GEI	112.103 t CO ₂ eq	Permite medir las emisiones generadas por las actividades portuarias.
Emisiones por combustibles	-60 % (2021)	Evidencia una reducción de emisiones asociadas al uso de combustibles.

Nota. Adaptado de *Informe Objetivos de Desarrollo Sostenible*, por Grupo Puerto de Cartagena (2023).

Resultados y Análisis de la Experiencia

La experiencia del Puerto de Cartagena evidencia un modelo de gestión portuaria que integra la protección ambiental, la eficiencia energética, la innovación tecnológica y el seguimiento de indicadores de sostenibilidad. Entre los principales resultados se destacan la certificación ISO 14001:2015 de sus terminales, la utilización de 53.792 MWh de electricidad renovable certificada en 2021 y la instalación de aproximadamente 6.000 paneles solares, con una generación estimada de 1,88 millones de kWh al año. Asimismo, se reportó una reducción del 33,88 % en el consumo total de agua durante el período 2017-2021 y una disminución del 60

% de las emisiones asociadas al uso de combustibles de los vehículos de la Autoridad Portuaria en el mismo período.

Estos resultados permiten identificar tres elementos relevantes en la experiencia del puerto: gestión ambiental, mediante sistemas de control y certificaciones; eficiencia en el uso de recursos, a través de iniciativas de energía renovable, generación solar y reducción del consumo de agua; e innovación tecnológica, mediante la digitalización de procesos y la incorporación de tecnologías vinculadas con el modelo de Puerto 4.0. En conjunto, estas acciones muestran cómo la integración de herramientas de gestión, indicadores ambientales e innovación puede contribuir al fortalecimiento de la sostenibilidad y eficiencia de las operaciones portuarias. (Puerto de Cartagena, 2025)

Puerto de Santos (Brasil)

Caracterización

El Puerto de Santos es el principal puerto de Brasil y de América Latina, ubicado en la ciudad de Santos, en el Estado de São Paulo. Su infraestructura está conformada por aproximadamente 13 km de muelles y 58 terminales con 62 muelles de atracación, que permiten atender principalmente operaciones de carga contenerizada, graneles agrícolas (soja, azúcar), graneles líquidos (combustibles) y carga general. La actividad portuaria es desarrollada por múltiples operadores, incluyendo Santos Brasil, BTP (APM Terminals y MSC), Embraport (Odebrecht y DP World) y otros terminales especializados. Además de su importancia para el comercio exterior, el puerto incorpora criterios de sostenibilidad en sus operaciones mediante el uso eficiente de recursos, el control de impactos ambientales, la gestión de residuos y el seguimiento de indicadores relacionados con el consumo de agua, energía y calidad ambiental. (Puerto de Santos, 2025)

Figura 7

Puerto de Santos



Nota. El Puerto de Santos es el principal puerto de Brasil y de América Latina, manejando más de 5,4 millones de TEUs anualmente (2024). Tomado de Port of Santos, por APS, 2024.

Políticas ambientales

Las políticas ambientales del Puerto de Santos están orientadas a prevenir y reducir los impactos derivados de las actividades portuarias, promoviendo el uso responsable de los recursos naturales y una adecuada gestión de los residuos. Entre sus principales acciones se encuentran el monitoreo de la calidad del agua y del aire, la prevención de incidentes que puedan generar afectaciones ambientales, la implementación de programas de reciclaje y la gestión selectiva de residuos. Asimismo, se contempla la recepción y manejo adecuado de los residuos generados por los buques mediante instalaciones autorizadas, con el propósito de evitar su disposición inadecuada y proteger el entorno marino y terrestre. La Autoridad Portuaria de Santos (APS) adhiere a la Norma NBR ISO 14001:2015, que establece criterios rigurosos para un eficiente sistema de gestión ambiental. (Puerto de Santos, 2025)

Gestión energética

El Puerto de Santos desarrolla acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones asociadas a sus operaciones. Entre las principales medidas se encuentran la

instalación de luminarias LED, el uso de equipos de mayor eficiencia, la implementación de sistemas de telemedición y el aprovechamiento de energías renovables. La Autoridad Portuaria establece indicadores de consumo energético y objetivos de reducción en los planes de empresa, incentivando medidas de ahorro energético en actividades intensivas en el uso de energía. Estas iniciativas permiten optimizar el consumo energético y disminuir progresivamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

Figura 8

Ambiente, Energía, Sustentabilidad



Nota. Adaptado de Política de Sustentabilidad, por Autoridad Portuaria de Santos, 2025.

Manejo de residuos

El Puerto de Santos aplica medidas para reducir, separar, aprovechar y disponer adecuadamente los residuos generados por sus actividades. Para ello, cuenta con sistemas de recolección selectiva y procesos de clasificación, almacenamiento, reciclaje y reutilización, incluyendo programas basados en las 4R (no generación, reducción, reutilización, reciclaje). Los residuos peligrosos son gestionados mediante operadores autorizados, mientras que los residuos generados por los buques son recibidos a través de instalaciones destinadas a su manejo, de

acuerdo con los procedimientos establecidos para este tipo de desechos. El Plano de Gestión de Residuos Sólidos del puerto busca desarrollar y consolidar una cultura enfocada en la no generación, reducción, reutilización y reciclaje de residuos en toda la comunidad portuaria. (Puerto de Santos, 2025)

Innovación

El Puerto de Santos impulsa un proceso de transformación digital orientado al desarrollo de un modelo de puerto inteligente (Smart Port), mediante proyectos destinados a mejorar la eficiencia, trazabilidad y coordinación de las operaciones portuarias. La Autoridad Portuaria de Santos (APS) está implementando una serie de proyectos tecnológicos que incluyen redes 5G, sistemas VTMS (Vessel Traffic Management and Information System) y gemelo digital del puerto, con el objetivo de modernizar la gestión y aumentar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de sus operaciones. Además, se incorporan tecnologías como blockchain, sensores, automatización de procesos y sistemas inteligentes de gestión, contribuyendo a una operación más eficiente, conectada y sostenible. (Puerto de Santos, 2025)

Certificaciones y normas

ISO 14001:2015 (NBR ISO 14001:2015). Sistema de Gestión Ambiental implementado en la Autoridad Portuaria de Santos, orientado al control de los aspectos e impactos ambientales asociados a sus actividades.

ISO 9001. Sistema de Gestión de Calidad implementado en operadores portuarios.

ISO 45001. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

PBIP/ISPS. Certificación relacionada con la aplicación del Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias.

Tabla 5

Indicadores ambientales

Indicador	Valor	Importancia
Consumo de agua	Datos no reportados públicamente	Permite controlar el uso del recurso hídrico en las operaciones portuarias.
Gestión energética	Indicadores de consumo energético monitoreados por la APS	Permite evaluar el uso eficiente de la energía en las actividades portuarias.
Emisiones de GEI	Datos específicos no reportados en la información consultada	Permite evaluar la huella ambiental asociada a las operaciones portuarias.
Generación de residuos	Plano de Gestión de Residuos Sólidos implementado	Favorece la reducción, reutilización y reciclaje de los residuos generados.
Residuos peligrosos	Gestión mediante operadores autorizados	Permite garantizar un manejo adecuado y reducir riesgos de contaminación.
Energía renovable	Proyectos de generación solar y eólica en evaluación	Favorece la incorporación futura de fuentes alternativas de energía.
Movimiento de contenedores	5,4 millones de TEU (2024)	Refleja el nivel de actividad y capacidad operativa del puerto.

Nota. Adaptado de Hechos y Cifras, de Autoridad Portuaria de Santos (2022), y Informe anual sobre la generación de residuos, de APS (2024).

Resultados y Análisis de la Experiencia

La experiencia del Puerto de Santos evidencia un modelo de gestión portuaria que integra la protección ambiental, la eficiencia energética, la innovación tecnológica y el seguimiento de indicadores de sostenibilidad. Entre los principales resultados se destacan la implementación de la NBR ISO 14001:2015 en la Autoridad Portuaria de Santos, el movimiento de 5,4 millones de TEU registrado en 2024, y la implementación de proyectos de transformación digital con redes 5G, VTMS y gemelo digital. Asimismo, el puerto cuenta con un Plano de Gestión de Residuos Sólidos que busca desarrollar una cultura de no generación, reducción, reutilización y reciclaje en toda la comunidad portuaria.

Estos resultados permiten identificar tres elementos relevantes en la experiencia del puerto: gestión ambiental, mediante sistemas de control y certificaciones ISO 14001; eficiencia en el uso de recursos, a través de iniciativas de eficiencia energética, gestión de residuos y evaluación de proyectos de energía renovable; e innovación tecnológica, mediante la

digitalización de procesos y la incorporación de tecnologías vinculadas con el modelo de Smart Port (5G, VTMS, gemelo digital). En conjunto, estas acciones muestran cómo la integración de herramientas de gestión, indicadores ambientales e innovación puede contribuir al fortalecimiento de la sostenibilidad y eficiencia de las operaciones portuarias. (Puerto de Santos, 2025)

Canal de Panamá

Caracterización

El Canal de Panamá es una vía interoceánica de 82 km de longitud que conecta los océanos Atlántico y Pacífico a través del Istmo de Panamá. Su infraestructura está conformada por dos sistemas de esclusas (Panamax y Neopanamax), canales de navegación, lagos artificiales (Gatún, Alajuela), embalses y áreas de anclaje y amarre en los puertos de Balboa (Pacífico) y Cristóbal (Caribe).

Figura 9

Canal de Panamá



Nota. El Canal de Panamá es una vía interoceánica de 82 km que conecta los océanos Atlántico y Pacífico, utilizando un promedio de 200 millones de litros de agua dulce por tránsito de nave. Tomado de Autoridad del Canal de Panamá, por ACP, 2025 (pancanal.com)

El Canal permite atender principalmente operaciones de tránsito de buques portacontenedores, graneleros, tanqueros, cruceros y carga general, con una capacidad

operacional de aproximadamente 38 naves diarias. La actividad es administrada y operada por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), entidad autónoma del Estado panameño. Además de su importancia para el comercio marítimo mundial, el Canal incorpora criterios de sostenibilidad en sus operaciones mediante el uso eficiente del recurso hídrico, el control de impactos ambientales, la gestión de residuos y el seguimiento de indicadores relacionados con el consumo de agua, energía y calidad ambiental. (Canal de Panamá, 2025)

Políticas ambientales

Las políticas ambientales del Canal de Panamá están orientadas a prevenir y controlar la contaminación en las operaciones, minimizar los impactos ambientales en las actividades, bienes y servicios que realiza, y promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales con énfasis en el recurso hídrico. Entre sus principales acciones se encuentran el monitoreo de la calidad del agua y del aire en la Cuenca Hidrográfica del Canal, la prevención de incidentes que puedan generar afectaciones ambientales, la implementación de programas de conservación de agua y la gestión integral de residuos. Asimismo, la ACP actualizó su compromiso socioambiental en 2022, firmando desde el más alto nivel la Política Ambiental como instrumento rector que direcciona el Sistema de Gestión Ambiental (SGA) como eje transversal al negocio. (Canal de Panamá, 2025)

Gestión energética

La Autoridad del Canal de Panamá desarrolla acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones asociadas a sus operaciones. Entre las principales medidas se encuentran la instalación de sistemas de iluminación eficiente, el uso de equipos de mayor eficiencia, la implementación de sistemas de monitoreo de consumo energético y el aprovechamiento de energías renovables. La ACP establece indicadores de consumo energético y

objetivos de reducción en sus planes de gestión, incentivando medidas de ahorro energético en actividades intensivas en el uso de energía. Estas iniciativas permiten optimizar el consumo energético y disminuir progresivamente las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la operación de esclusas, dragado y mantenimiento de la vía.

Figura 10

Gestión energética



Nota. Adaptado de Estrategia de Desarrollo Sostenible y Descarbonización, por Autoridad del Canal de Panamá, 2025.

Manejo de residuos

El Canal de Panamá aplica medidas para reducir, separar, aprovechar y disponer adecuadamente los residuos generados por sus actividades. Para ello, cuenta con un Programa de Manejo de Residuos dividido en tres componentes: (1) Manejo de Residuos Sólidos, (2) Manejo de Efluentes Líquidos (aguas servidas), y (3) Manejo de Residuos Peligrosos. El sistema utiliza la norma ISO 14001 como referencia para la definición de un sistema de gestión ambiental. Los residuos peligrosos son gestionados mediante operadores autorizados, mientras que los residuos generados por los buques son recibidos a través de instalaciones destinadas a su manejo, de

acuerdo con los procedimientos establecidos para este tipo de desechos. El manual para manejo de materiales y desechos de la ACP establece directrices para el manejo integral de materiales y residuos generados en las áreas operativas, enfocándose en estrategias de reducción, reutilización y reciclaje. (Canal de Panamá, 2025)

Innovación

El Canal de Panamá impulsa un proceso de transformación digital orientado al desarrollo de una vía interoceánica inteligente (Smart Waterway), mediante proyectos destinados a mejorar la eficiencia, trazabilidad y coordinación de las operaciones de tránsito. Entre las principales iniciativas se encuentran sistemas de reserva de cupos en línea, plataformas digitales para gestión de tránsitos, automatización de procesos de inspección y control, y sistemas inteligentes de gestión del recurso hídrico. Además, se incorporan tecnologías como sensores, automatización de esclusas, sistemas de información en tiempo real y herramientas de análisis de datos, contribuyendo a una operación más eficiente, segura y sostenible.

Certificaciones y normas

ISO 14001:2015. Sistema de Gestión Ambiental (SGAS) certificado por Lloyd's Register, implementado en la División de Gestión Ambiental de la ACP desde 2003 (primera certificación ISO 14001:1996, recertificada ISO 14001:2004 y actualizada a ISO 14001:2015).

ISO 9001. Sistema de Gestión de Calidad implementado en procesos de la ACP.

ISO 45001. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

PBIP/ISPS. Certificación relacionada con la aplicación del Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias.

Tabla 6*Indicadores ambientales y operativos*

Indicador	Valor	Importancia
Agua utilizada por tránsito	200 millones de litros por tránsito de nave	Permite evaluar el uso del recurso hídrico en la operación de esclusas.
Longitud del Canal	82 km	Muestra la extensión de la vía interoceánica.
Capacidad operacional	Hasta 38 tránsitos diarios	Refleja la capacidad máxima de tránsito de la vía.
Tiempo promedio de tránsito	8–10 horas	Permite planificar la logística de tránsito de buques.
Esclusas	2 sistemas (Panamax y Neopanamax)	Evidencia la capacidad de atender diferentes tamaños de buques.
Gestión de residuos	Programa de Manejo de Residuos (3 componentes)	Contribuye a la reducción, reutilización y disposición adecuada de residuos.
Certificación ambiental	ISO 14001 desde 2003	Garantiza un sistema de gestión ambiental certificado internacionalmente.

Nota. Adaptado de Sistema de Gestión Ambiental, por Autoridad del Canal de Panamá (2025), e Infraestructura Operacional, por ACP (2025).

Resultados y Análisis de la Experiencia

La experiencia del Canal de Panamá evidencia un modelo de gestión que integra la protección ambiental, la eficiencia en el uso del recurso hídrico, la innovación tecnológica y el seguimiento de indicadores de sostenibilidad. Entre los principales resultados se destacan la certificación ISO 14001 desde 2003, el uso de 200 millones de litros de agua dulce por tránsito de nave, y la operación de dos sistemas de esclusas (Panamax y Neopanamax) que permiten atender aproximadamente 38 naves diarias con un tiempo promedio de tránsito de 24 horas. Asimismo, el Canal cuenta con un Programa de Manejo de Residuos dividido en tres componentes (sólidos, efluentes líquidos y peligrosos) que busca desarrollar una cultura de reducción, reutilización y reciclaje en toda la operación.

Estos resultados permiten identificar tres elementos relevantes en la experiencia del Canal: gestión ambiental, mediante sistemas de control y certificaciones ISO 14001; eficiencia en el uso de recursos, a través de iniciativas de conservación de agua, gestión de residuos y

evaluación de proyectos de energía renovable; e innovación tecnológica, mediante la digitalización de procesos y la incorporación de tecnologías vinculadas con la operación de una vía interoceánica inteligente (reservas en línea, automatización de esclusas, sistemas de información en tiempo real). En conjunto, estas acciones muestran cómo la integración de herramientas de gestión, indicadores ambientales e innovación puede contribuir al fortalecimiento de la sostenibilidad y eficiencia de las operaciones de una vía interoceánica estratégica para el comercio mundial.

Puerto Callao (Perú)

Caracterización

El Puerto del Callao se encuentra ubicado en la Provincia Constitucional del Callao, en la costa central del Perú, y constituye el principal puerto marítimo del país. Es una infraestructura estratégica para el comercio exterior peruano debido al importante volumen de mercancías que moviliza y a su conexión con las principales rutas marítimas internacionales. Dentro de su complejo portuario se desarrollan actividades de recepción y despacho de naves, movimiento de contenedores, carga general y otras operaciones logísticas. (Puerto del Callao, 2025)

El puerto cuenta con diferentes terminales especializados, entre los que destacan el Muelle Sur, operado por DP World Callao, y el Muelle Norte, operado por APM Terminals Callao. Estas instalaciones permiten atender grandes volúmenes de carga y facilitan la conexión del Perú con los mercados internacionales. La modernización de sus terminales ha permitido incorporar equipos de mayor capacidad y tecnologías destinadas a mejorar la productividad y seguridad de las operaciones.

Desde el punto de vista ambiental, el Puerto del Callao enfrenta el desafío de desarrollar sus actividades en una zona urbana y costera con una elevada concentración de actividades

industriales, logísticas y de transporte. Por ello, la gestión ambiental está relacionada con el control de emisiones, manejo de residuos, eficiencia energética, protección del medio marino y reducción de los impactos generados por las operaciones portuarias. Estas acciones son importantes para avanzar hacia un modelo de puerto más sostenible.

Figura 11

Puerto Callao (Perú)



Nota. Puerto marítimo de la costa central del Perú, en el Pacífico sur-oriental, perteneciente además a la ciudad del Callao, en la Provincia Constitucional del Callao.

Políticas ambientales

Las políticas ambientales aplicadas en el Puerto del Callao están orientadas a prevenir, controlar y reducir los impactos ambientales producidos por las operaciones portuarias. Los principales terminales cuentan con sistemas de gestión ambiental y procedimientos destinados a controlar aspectos como emisiones atmosféricas, consumo de energía, generación de residuos, calidad del agua y posibles impactos sobre el ecosistema marino.

Una de las prioridades es el cumplimiento de la normativa ambiental peruana y de los compromisos establecidos en los instrumentos de gestión ambiental de cada terminal. Esto permite establecer medidas de prevención, mitigación, monitoreo y respuesta ante posibles impactos ambientales.

También se han desarrollado iniciativas relacionadas con la reducción de emisiones y la transición hacia operaciones más limpias. La incorporación de equipos eléctricos, sistemas de iluminación eficiente y tecnologías para mejorar el consumo energético representa un avance hacia una operación portuaria con menor impacto ambiental. (Puerto de Callao, 2025)

Gestión energética

La gestión energética del Puerto del Callao busca reducir el consumo de combustibles y electricidad y mejorar la eficiencia de los equipos utilizados en las operaciones portuarias. Debido al elevado volumen de carga movilizada, la utilización eficiente de la energía es fundamental para disminuir los costos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las principales estrategias consiste en la electrificación progresiva de equipos portuarios, especialmente aquellos utilizados para el movimiento de contenedores. El reemplazo de equipos que funcionan con combustibles fósiles por alternativas eléctricas permite reducir las emisiones directas y mejorar la eficiencia de las operaciones.

Figura 12

Plan de Descarbonización



Nota. Elaborado a partir de “La estrategia de descarbonización del Muelle Sur del Puerto del Callao y sus resultados en 2025”, por Zoom Empresarial, 2026 (<https://zoomempresarial.pe/2026/01/29/la-estrategia-de-descarbonizacion-del-muelle-sur-del-puerto-del-callao-y-sus-resultados-en-2025/>).

También se han implementado sistemas de iluminación LED y tecnologías de gestión energética en diferentes instalaciones. Estas medidas permiten disminuir el consumo de electricidad y, al mismo tiempo, mantener las condiciones necesarias para desarrollar operaciones portuarias seguras y eficientes.

Manejo de residuos

El manejo de residuos constituye un componente importante de la gestión ambiental del Puerto del Callao debido a la gran cantidad y diversidad de materiales generados durante las actividades portuarias. Los residuos pueden proceder de las operaciones de carga y descarga, mantenimiento de equipos, oficinas, embarcaciones y servicios auxiliares. (Puerto de Callao, 2026)

La gestión se basa principalmente en la segregación, almacenamiento, transporte, valorización y disposición final adecuada de los residuos. Los residuos peligrosos reciben un tratamiento especial para evitar riesgos de contaminación del suelo y del agua, mientras que los materiales aprovechables pueden ser destinados a procesos de reciclaje o reutilización.

Además, los terminales realizan actividades de seguimiento y control de la generación de residuos. Estas medidas permiten conocer los volúmenes producidos, identificar oportunidades para disminuirlos y fomentar una mayor valorización de materiales. De esta manera, el puerto busca avanzar hacia una gestión basada en la prevención y la economía circular.

Innovación

La innovación en el Puerto del Callao está relacionada principalmente con la modernización tecnológica de las terminales y la incorporación de equipos más eficientes. La utilización de grúas modernas, sistemas automatizados y plataformas digitales permite mejorar la productividad y disminuir tiempos de operación. (Puerto de Callao, 2025)

En el ámbito ambiental, la innovación se observa especialmente en la incorporación de equipos eléctricos y tecnologías de eficiencia energética. Estas herramientas permiten reducir progresivamente el consumo de combustibles fósiles y las emisiones producidas durante el movimiento de contenedores.

La digitalización también contribuye a la sostenibilidad porque facilita la planificación y coordinación de las operaciones. Una mejor organización de los vehículos, equipos y movimientos de carga puede reducir tiempos de espera y desplazamientos innecesarios, generando beneficios tanto económicos como ambientales.

Certificaciones y normas

ISO 14001:2015 – Sistema de Gestión Ambiental. Se encuentra vigente en DP World Callao, APM Terminals y APN. Los organismos certificadores señalados son Lloyd's Register y Bureau Veritas.

ISO 9001:2015 – Sistema de Gestión de Calidad. Norma orientada al fortalecimiento de la gestión y calidad de los procesos portuarios, cuya implementación o certificación depende del alcance establecido por cada organización.

ISO 45001:2018 – Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Se encuentra vigente en terminales y centros de capacitación. Los organismos certificadores indicados son AENOR y Bureau Veritas.

ISPS/PBIP – Código Internacional para la Protección de Buques e Instalaciones Portuarias. Se encuentra vigente en todos los terminales portuarios. Su aplicación involucra a la Dirección General de Capitanías y Guardacostas (DICAPI), perteneciente a la Marina de Guerra del Perú, y a la Autoridad Portuaria Nacional (APN).

Tabla 7

Indicadores ambientales

Indicador	Valor	Importancia
Emisiones reducidas (2025)	Más de 20 000 t CO₂e dejadas de emitir	Mide el impacto de las acciones de descarbonización implementadas en el Muelle Sur.
Electrificación de operaciones	20 camiones eléctricos y estación de carga eléctrica	Evidencia la sustitución progresiva de equipos que utilizan combustibles fósiles.
Meta de reducción de emisiones	Reducción del 90 % para 2030 en emisiones de Alcance 1 y 2	Define el compromiso climático de DP World Callao.
Energía eléctrica renovable	Electricidad 100 % renovable certificada mediante I-REC desde mayo de 2023	Contribuye a reducir las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad.
Calidad ambiental	Monitoreo de calidad del aire y agua de mar	Permite evaluar las condiciones ambientales asociadas a la actividad portuaria.
Gestión de residuos	Gestión diferenciada y disposición conforme al Convenio MARPOL	Permite controlar los residuos generados por los buques y evitar impactos ambientales.
Sistemas de gestión	Implementación de sistemas asociados a ISO 14001, ISO 9001 e ISO 28000, entre otros	Favorece la gestión ambiental, calidad y seguridad de las operaciones.
Biodiversidad marina	66 especies de 12 grupos marinos registradas durante 12 meses en el proyecto Living Seawalls	Permite evaluar la respuesta de comunidades marinas ante la incorporación de infraestructura ecológica.

Resultados obtenidos y análisis de la experiencia

La modernización del Puerto del Callao ha permitido mejorar la eficiencia de sus operaciones mediante la incorporación de equipos de mayor productividad, nuevas tecnologías y procesos más eficientes para atender el creciente movimiento de carga. A nivel ambiental, la electrificación y renovación de equipos contribuyen a reducir el consumo de combustibles y las emisiones atmosféricas, mientras que los sistemas de gestión ambiental facilitan el seguimiento de residuos, consumo energético, emisiones y calidad ambiental.

Asimismo, el fortalecimiento de la gestión de residuos y de los programas de monitoreo ambiental permite reducir los riesgos de contaminación y mejorar el control de las actividades desarrolladas en las terminales. Estos avances evidencian que la sostenibilidad puede integrarse al proceso de modernización portuaria sin afectar la productividad y competitividad.

La experiencia del Puerto del Callao demuestra que la sostenibilidad portuaria puede desarrollarse mediante la integración de descarbonización, electrificación, gestión ambiental, innovación tecnológica y protección de la biodiversidad. Su principal aporte como experiencia de referencia radica en combinar objetivos ambientales cuantificables con inversiones en modernización operativa, demostrando que la reducción de emisiones y el uso eficiente de los recursos pueden incorporarse a la estrategia de competitividad portuaria.

Ecuador

Puerto Bolívar

Caracterización

El Puerto Bolívar se encuentra ubicado en la parroquia urbana del mismo nombre, cantón Machala, provincia de El Oro, en el sur del Ecuador. Constituye el segundo puerto bananero más importante del país, después de Guayaquil, y es estratégico para la exportación de banano y camarón hacia Europa y otros mercados. (Puerto Bolivar, 2025)

Figura 13

Puerto Bolívar



Nota. El puerto fue nombrado en honor de Simón Bolívar (1783-1830).

El puerto cuenta con un muelle espigón de 130 m de longitud y 30 m de ancho, con dos atracaderos y un calado de 10,5–12,5 metros, que permite el atraque simultáneo de hasta dos

buques de 20.000 TPM. Además, dispone de un muelle marginal de 360 m, seis bodegas para carga general (10.152 m²), seis bodegas para paletizado de banano (14.592 m²), patios de contenedores (103.735 m²) y áreas especializadas para contenedores refrigerados.

Desde el punto de vista ambiental, el Puerto Bolívar opera en una zona costera con alta actividad agroexportadora, por lo que la gestión ambiental se enfoca en el control de emisiones, manejo de residuos, eficiencia energética, protección del ecosistema marino y costero de la zona de influencia del puerto

Políticas ambientales

Las políticas ambientales del Puerto Bolívar están orientadas a prevenir y reducir los impactos de las operaciones portuarias, en cumplimiento de la normativa ecuatoriana (Ley de Gestión Ambiental, reglamentos de la Autoridad Portuaria) y de los instrumentos de gestión ambiental de cada terminal.

Se han implementado medidas de control de emisiones atmosféricas, consumo de energía, generación de residuos y calidad del agua, así como planes de contingencia para derrames de hidrocarburos y monitoreo de dragados. (Puerto Bolívar, 2025)

Estas políticas también buscan incorporar criterios ambientales en los procesos de modernización del puerto. La ampliación de infraestructura y el aumento de la capacidad operativa deben desarrollarse considerando medidas para disminuir los impactos sobre el entorno. De esta manera, el crecimiento de Puerto Bolívar busca combinar la competitividad logística con una gestión ambiental responsable.

Gestión energética

La gestión energética de Puerto Bolívar está relacionada con la reducción del consumo de combustibles, el uso eficiente de la electricidad y la incorporación progresiva de tecnologías más

limpias. YILPORT considera la eficiencia energética como una de sus líneas de acción ambiental y señala que desarrolla proyectos destinados a disminuir el consumo de energía en sus terminales.

Una de las principales estrategias consiste en la utilización de equipos electrificados, especialmente grúas tipo e-RTG. La electrificación permite reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones generadas por los equipos utilizados en el movimiento de contenedores. YILPORT señala que sus proyectos de e-RTG pueden alcanzar reducciones muy importantes de emisiones de carbono frente a equipos convencionales.

Manejo de residuos

El manejo de residuos en Puerto Bolívar busca reducir la generación de desechos y garantizar su adecuada clasificación, almacenamiento, tratamiento y disposición final. Debido a la variedad de operaciones realizadas en el terminal, se generan diferentes tipos de residuos, por lo que es necesario establecer procedimientos específicos para residuos comunes, reciclables, peligrosos y especiales. (Puerto Bolívar, 2025)

Figura 14

Terminal Marítimo de Puerto Bolívar y sus certificaciones de calidad



Nota. La imagen corresponde al Terminal Marítimo de Puerto Bolívar, concesionado a Yilportecu, que obtuvo las certificaciones ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, relacionadas con gestión de calidad, gestión ambiental y seguridad y salud en el trabajo, respectivamente. Tomado de *Ecuador: Terminal marítimo de Puerto Bolívar obtiene triple certificación de calidad*, por PortalPortuario, 2021.

La gestión de residuos también se encuentra relacionada con la política ambiental general de YILPORT, que busca disminuir progresivamente la generación de desechos y avanzar hacia un modelo de “cero residuos”. Esto implica aplicar medidas de reducción, reutilización y valorización siempre que sea posible, disminuyendo la cantidad de materiales enviados a disposición final.

Los estudios ambientales de Puerto Bolívar contemplan específicamente la gestión de residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos o especiales, estableciendo la necesidad de aplicar procedimientos adecuados durante las operaciones.

Innovación

La innovación en Puerto Bolívar está relacionada con la modernización de la infraestructura, incorporación de tecnología y digitalización de las operaciones portuarias. YILPORT ha desarrollado proyectos destinados a mejorar la eficiencia del ingreso y salida de vehículos y mercancías. Un ejemplo es el sistema de cámaras OCR, que permite automatizar la identificación de vehículos y contenedores y facilitar los procesos de acceso al terminal.

La innovación también se aplica directamente a la sostenibilidad mediante la utilización de equipos electrificados, sistemas de iluminación eficiente y herramientas de control energético. Estas tecnologías permiten mejorar la productividad mientras se reducen determinados impactos ambientales.

Otro elemento importante es la incorporación de tecnologías para monitorear el estado de los equipos, controlar los ciclos de mantenimiento y conocer el consumo de combustible. Esto permite tomar decisiones basadas en información y evitar consumos innecesarios, contribuyendo a una operación portuaria más eficiente y sostenible.

Certificaciones y normas

ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001. Sistemas de gestión relacionados con calidad, gestión ambiental y seguridad y salud en el trabajo, respectivamente, implementados en el marco de la gestión del terminal. Licencia ambiental: Permite regularizar proyectos y actividades de acuerdo con su nivel de impacto y riesgo ambiental.

Estudios de Impacto Ambiental: Permiten identificar impactos y establecer medidas de prevención, mitigación, control y seguimiento.

Plan de Manejo Ambiental: Establece las acciones que deben aplicarse para gestionar los impactos ambientales de los proyectos y operaciones.

Tabla 8

Indicadores ambientales

Indicador	Valor	Importancia
Huella de carbono (2019)	9.664,42 t CO ₂ e	Año base del inventario de gases de efecto invernadero (GEI).
Huella de carbono (2020)	10.239,99 t CO ₂ e	Permite identificar la variación de las emisiones respecto al año base.
Índice de GEI por TEU (2019)	63,79 kg CO ₂ e/TEU	Permite evaluar la eficiencia ambiental de las operaciones portuarias.
Índice de GEI por TEU (2020)	57,75 kg CO ₂ e/TEU	Evidencia una mejora de la eficiencia de las operaciones en términos de emisiones por TEU.
Emisiones asociadas al consumo de electricidad (2019)	6.315,19 t CO ₂ e (65,34 % del total)	Constituyen la principal fuente de emisiones identificada en el inventario.
Emisiones por combustibles de maquinaria (2019)	2.856,42 t CO ₂ e (29,56 % del total)	Representan la segunda fuente principal de emisiones de GEI.
Gestión de residuos sólidos (2025)	970 kg recolectados (100 % de la meta)	Refleja las acciones de gestión y recolección de residuos en las instalaciones portuarias.
Gestión ambiental y certificaciones (2021)	ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001	Evidencia la implementación de sistemas de gestión relacionados con calidad, ambiente y seguridad y salud en el trabajo.
Calidad del aire	Cumplimiento de las concentraciones máximas permitidas para CO, NO ₂ , SO ₂ , O ₃ y PM10	Permite evaluar el desempeño de las operaciones portuarias respecto a la calidad del aire y el cumplimiento de la normativa ambiental.

Resultados obtenidos y análisis de la experiencia

La modernización del Puerto Bolívar ha permitido mejorar la eficiencia operativa mediante la incorporación de equipos de mayor productividad, sistemas de acceso automatizado y tecnologías para la carga refrigerada. A nivel ambiental, las inversiones en eficiencia energética y la gestión de residuos contribuyen a reducir emisiones y riesgos de contaminación.

La experiencia del Puerto Bolívar demuestra que la sostenibilidad portuaria puede desarrollarse mediante la integración de modernización operativa, gestión ambiental y cumplimiento normativo. Su principal aporte como experiencia de referencia radica en combinar objetivos ambientales (control de emisiones, manejo de residuos) con inversiones en infraestructura y tecnología, demostrando que la competitividad agroexportadora puede compatibilizarse con prácticas ambientales responsables. (Puerto Bolívar, 2025)

Puerto Posorja

Caracterización

El Puerto de Aguas Profundas de Posorja está ubicado en la parroquia Posorja, provincia del Guayas, y es operado por DP World Posorja S.A. Se caracteriza por contar con un canal de acceso de aguas profundas que permite recibir buques portacontenedores de gran tamaño y mejorar la conexión del Ecuador con las principales rutas marítimas internacionales. Desde el inicio de sus operaciones, se ha consolidado como una infraestructura estratégica para el comercio exterior ecuatoriano, especialmente para productos como banano, camarón y cacao.

Desde el punto de vista ambiental, Posorja se presenta como una experiencia de puerto inteligente y sostenible, debido a que incorpora la gestión ambiental y energética dentro de sus operaciones. Su política contempla el uso eficiente de los recursos, protección de la biodiversidad, reducción de emisiones, gestión responsable de residuos y estrategias de

descarbonización. Por ello, constituye un caso relevante para analizar la evolución de los puertos verdes en Ecuador. (Puerto Posorja, 2025)

Figura 15

Puerto de Posorja



Nota. Puerto de Aguas Profundas de Posorja. Tomado de *El Universo* (2022).

Políticas ambientales

Las políticas ambientales de DP World Posorja buscan prevenir, cuantificar, controlar y mitigar los impactos ambientales generados por las actividades portuarias. La empresa establece que la gestión ambiental debe formar parte de la cultura organizacional y aplicarse a actividades como la recepción, entrega y manipulación de carga, además del mantenimiento de infraestructura y maquinaria.

Una de sus prioridades es la protección de los recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas. También contempla medidas para reducir las emisiones contaminantes al aire, agua, suelo y sedimentos. Estas acciones se complementan con el cumplimiento de los requisitos legales ambientales aplicables a la actividad portuaria.

Además, la política ambiental incorpora medidas relacionadas con el cambio climático y la descarbonización, buscando disminuir progresivamente la huella de carbono de sus

operaciones. La empresa también promueve la adquisición de tecnologías, equipos y servicios que sean más eficientes energéticamente.

Gestión energética

La gestión energética de Puerto Posorja está enfocada en mejorar la eficiencia del consumo de energía y reducir la utilización de combustibles fósiles. DP World considera la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo energético como elementos importantes para el desempeño de la organización.

Un ejemplo importante es la incorporación de grúas pórtico completamente eléctricas. En 2025, DP World incorporó dos grúas Super Post-Panamax con alimentación 100 % eléctrica, capaces de atender buques de gran tamaño. Estas grúas permiten aumentar la capacidad operativa mientras contribuyen a reducir las emisiones asociadas al funcionamiento de equipos portuarios.

La estrategia energética también incluye la incorporación de energía fotovoltaica. Según información de DP World Posorja, la estrategia de descarbonización ha incluido proyectos de generación solar y otras iniciativas destinadas a disminuir la huella de carbono de la terminal.

Manejo de residuos

El manejo de residuos en Puerto Posorja busca prevenir y reducir la generación de desechos, además de garantizar que aquellos residuos producidos sean clasificados, gestionados y destinados de manera adecuada. La política ambiental de DP World establece expresamente una gestión responsable de los residuos basada en la jerarquía de residuos y en los principios de economía circular.

La aplicación de estos principios busca priorizar la reducción, reutilización, recuperación y reciclaje de materiales antes de recurrir a su disposición final. Esto permite disminuir la

cantidad de residuos que pueden generar impactos sobre el suelo, el agua o los ecosistemas cercanos al puerto. (Puerto Posorja, 2025)

Además, DP World Posorja ha incluido la gestión de residuos orgánicos dentro de sus iniciativas para reducir su huella de carbono. Esta práctica demuestra que el manejo de residuos no se considera únicamente un proceso de disposición final, sino también una oportunidad para aprovechar materiales y disminuir emisiones.

Innovación

Figura 16

Puerto de Aguas Profundas de Posorja: innovación tecnológica



Nota. La figura corresponde al Puerto de Aguas Profundas de Posorja, donde se implementaron tecnologías de información y plataformas de soporte para las operaciones portuarias, incluyendo procesos de puertas, patio, buques, contenedores y facturación. Tomado de *Posorja: “Hub de Innovación tecnológica de la región”*, por Alejandro Villalobos, publicado en *Noticias Logística y Transporte* el 10 de diciembre de 2019.

La innovación constituye uno de los elementos más importantes de Puerto Posorja, que desde su inicio ha sido presentado como el primer puerto inteligente del Ecuador. La terminal utiliza tecnología para automatizar y mejorar diferentes procesos relacionados con el ingreso de vehículos, manipulación de contenedores, seguridad y planificación de las operaciones.

Entre las tecnologías utilizadas se encuentran los sistemas OCR (reconocimiento óptico de caracteres), que permiten identificar automáticamente vehículos y contenedores y agilizar los

procesos de entrada y salida. Estas herramientas contribuyen a reducir tiempos de operación y mejorar el control de la carga. (Puerto Posorja, 2025)

La innovación también está directamente relacionada con la sostenibilidad. La incorporación de grúas eléctricas, energía fotovoltaica y sistemas de optimización del transporte terrestre permite combinar productividad con reducción de emisiones. Un ejemplo es el Freight Matching System (FMS), que optimiza la llegada y salida de camiones y forma parte de las iniciativas de DP World Posorja para disminuir su huella de carbono.

Certificaciones y normas

ISO 14001:2015. Sistema de gestión ambiental para controlar impactos y promover la mejora continua.

ISO 50001:2018. Sistema de gestión de la energía orientado a mejorar el desempeño energético.

Normativa ambiental ecuatoriana. Establece requisitos para prevenir y controlar impactos ambientales.

Plan de Manejo Ambiental. Define medidas de prevención, mitigación, control y seguimiento ambiental.

Tabla 9

Indicadores ambientales

Indicador	Valor	Importancia
Huella de carbono cuantificada	Primera terminal portuaria de contenedores en Ecuador en cuantificar su huella de carbono (noviembre de 2023)	Constituye un antecedente relevante de cuantificación de emisiones de GEI, con verificación de SGS para los Alcances 1, 2 y 3.
Emisiones de CO ₂ evitadas	Más de 42.300 t CO ₂	Refleja la reducción acumulada de emisiones mediante iniciativas de energías renovables, eficiencia energética y gestión de residuos.
Energía renovable (hidroeléctrica)	Desde agosto de 2020, 100 % de energía hidroeléctrica	Contribuye a evitar más de 17.000 t CO ₂ anuales, reduciendo las emisiones asociadas al consumo de electricidad.

Indicador	Valor	Importancia
Paneles solares	74 paneles solares instalados	Contribuyen a la generación de energía renovable y evitan más de 3 t CO ₂ al año.
Restauración de manglares	250.000 plántulas en 105 ha (El Morro e Isla Puná, noviembre de 2024)	Favorece la restauración de ecosistemas costeros y contribuye a la captura de 50.719 t CO ₂ , además de beneficiar a comunidades pesqueras locales.
Living Seawalls	21 pilotes con paneles ecoingenierizados (2025); meta de 33 pilotes (2026)	Favorece la biodiversidad marina mediante infraestructura que incorpora elementos similares a hábitats naturales.
Calidad del aire	Concentraciones de PM10 y PM2,5 por debajo de los límites máximos permisibles	Permite evaluar el comportamiento de la calidad del aire asociado a las operaciones portuarias y actividades de dragado.
Meta de descarbonización	Reducción del 42 % de las emisiones de Alcance 1 para 2030 respecto de 2022 y cero emisiones netas para 2050	Expresa el compromiso de reducción de emisiones y la estrategia de descarbonización a largo plazo.

Nota. Un indicador especialmente relevante es la huella de carbono. DP World Posorja señala que es el único puerto de contenedores del Ecuador que cuenta con el distintivo de Cuantificación de Huella de Carbono del Programa Ecuador Carbono Cero (PECC).

Resultados obtenidos y análisis de la experiencia

Uno de los principales resultados ambientales de Puerto Posorja es el avance en la reducción de su huella de carbono. Según información de DP World Posorja, su estrategia integral de descarbonización ha permitido absorber más de 45.000 toneladas de CO₂ mediante proyectos relacionados con energía fotovoltaica, gestión de residuos orgánicos y optimización del transporte de carga.

Otro resultado importante es la incorporación de equipos eléctricos. Las dos nuevas grúas Super Post-Panamax instaladas en 2025 funcionan completamente con electricidad y tienen un alcance de 68 metros. Su incorporación permite atender buques de mayor tamaño y, al mismo tiempo, apoyar los objetivos de descarbonización de la terminal.

El Puerto Posorja representa una de las experiencias más avanzadas de infraestructura portuaria sostenible del Ecuador. Sus principales aportes están relacionados con la gestión energética, reducción de emisiones, manejo responsable de residuos, innovación tecnológica y

medición de la huella de carbono. Por estas características, puede servir como referencia para otros puertos ecuatorianos que busquen avanzar hacia modelos de puertos verdes, inteligentes y bajos en emisiones. (Puerto Posorja, 2025)

Puerto de Guayaquil

Caracterización

El Puerto de Guayaquil es uno de los principales puntos de conexión del Ecuador con el comercio marítimo internacional y se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. Su importancia se debe a su participación en el movimiento de mercancías de importación y exportación y a su conexión con diferentes rutas marítimas internacionales. La Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG) cumple funciones de administración, control y supervisión de las terminales concesionadas, mientras que diferentes operadores desarrollan los servicios portuarios. (Puerto Guayaquil, 2025)

Figura 17

Puerto de Guayaquil



Nota. Terminal Portuario de Guayaquil. Tomado de *Hanseatic Global Terminals* (2025).

El puerto ofrece servicios relacionados con buques, carga y pasajeros, incluyendo el control y monitoreo de terminales de contenedores y multipropósito, así como el monitoreo y

seguridad del canal de acceso. También se realizan actividades de atraque, practica y remolque mediante operadores autorizados. Estas características hacen que Guayaquil sea un componente importante de la cadena logística y del comercio exterior ecuatoriano.

Desde el punto de vista ambiental, el Puerto de Guayaquil enfrenta el desafío de desarrollar sus operaciones dentro de un entorno urbano y estuarino, por lo que resulta importante controlar los impactos relacionados con el consumo energético, emisiones, generación de residuos, calidad del agua y posibles afectaciones al ecosistema. La APG establece dentro de su visión el compromiso con el desarrollo sustentable y con una operación portuaria tecnológicamente integrada.

Políticas ambientales

Las políticas ambientales del Puerto de Guayaquil están orientadas a que las actividades portuarias se desarrollen de manera responsable y sostenible, cumpliendo con la normativa ambiental ecuatoriana y con las condiciones establecidas para los operadores y concesionarios. La APG ejerce funciones de control sobre las terminales concesionadas, por lo que la gestión ambiental involucra tanto a la autoridad como a las empresas que desarrollan las operaciones.

Entre los principales aspectos ambientales que deben controlarse se encuentran la prevención de la contaminación del agua, suelo y aire, el manejo adecuado de residuos y el control de las actividades que puedan generar impactos sobre el entorno portuario. Las normas que regulan los servicios portuarios también establecen requisitos relacionados con permisos ambientales y gestores autorizados para determinados servicios. (Puerto Guayaquil, 2025)

La sostenibilidad también está incluida dentro de la planificación institucional de la APG. En su documentación oficial se señala como objetivo fortalecer una infraestructura portuaria

sostenible y resiliente, buscando mejorar la eficiencia logística y reducir la vulnerabilidad de la infraestructura frente a amenazas naturales.

Figura 18

Terminal Portuario de Guayaquil: organización carbono neutro



Nota. Terminal Portuario de Guayaquil. Tomado de *El Universo* (2025)

Gestión energética

La gestión energética del Puerto de Guayaquil busca mejorar la eficiencia en el uso de electricidad y combustibles empleados en las diferentes actividades portuarias. Debido al funcionamiento continuo de grúas, vehículos, sistemas de iluminación, equipos de manipulación de carga y demás infraestructura, el consumo energético constituye un aspecto importante dentro de la gestión ambiental.

Entre las medidas implementadas en las terminales se encuentran la electrificación de grúas, la incorporación de iluminación LED y la sustitución de equipos convencionales por alternativas de mayor eficiencia energética. Estas acciones permiten reducir consumos innecesarios y, al mismo tiempo, mantener la productividad de las operaciones.

También es importante considerar la incorporación progresiva de tecnologías más limpias en las terminales concesionadas. La modernización de equipos y la digitalización pueden ayudar a disminuir tiempos de operación, desplazamientos innecesarios y consumo de combustibles, contribuyendo a una operación portuaria más eficiente.

Manejo de residuos

El manejo de residuos en el Puerto de Guayaquil comprende las actividades relacionadas con la generación, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento, reciclaje y disposición final de los residuos producidos por las operaciones portuarias. Debido a la diversidad de actividades que se realizan, pueden generarse residuos comunes, reciclables, peligrosos y otros provenientes del mantenimiento de equipos e instalaciones. (Puerto Guayaquil, 2025)

Las normas que regulan los servicios portuarios establecen requisitos relacionados con los permisos ambientales y certificados de gestores finales, lo que permite controlar que determinados residuos sean entregados a empresas autorizadas para su tratamiento o disposición.

Innovación

La innovación del Puerto de Guayaquil está relacionada principalmente con la modernización tecnológica, digitalización y mejora de los procesos logísticos. La APG cuenta con plataformas y servicios en línea que facilitan diferentes trámites y consultas, reduciendo la necesidad de realizar determinados procesos de manera presencial.

La utilización de tecnologías en las terminales también permite mejorar la planificación de las operaciones, controlar la carga y aumentar la eficiencia en el movimiento de mercancías. Una operación mejor coordinada puede reducir tiempos de espera, movimientos innecesarios de equipos y consumo de combustible.

Desde la perspectiva ambiental, la innovación puede contribuir a la sostenibilidad mediante la automatización, electrificación de equipos, sistemas de iluminación eficiente y monitoreo de consumos y emisiones. Estas herramientas permiten avanzar progresivamente hacia operaciones portuarias más eficientes y con menor impacto ambiental.

Certificaciones y normas

ISO 9001:2015 – Garantiza la calidad en la gestión de procesos portuarios.

ISO 14001:2015 – Sistema de gestión ambiental orientado a controlar los aspectos e impactos ambientales y promover la mejora continua.

ISO 45001:2018 – Certifica la seguridad y salud de los trabajadores en operaciones portuarias.

ISO 14064-1:2018 e ISO 14068-1:2023 – Verifican la neutralidad de carbono (100% de emisiones de Alcances 1 y 2 compensadas, periodo 2022).

ISPS/PBIP – ISPS/PBIP. Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias, orientado a fortalecer la protección y seguridad de los buques y las instalaciones portuarias frente a amenazas que puedan afectar al transporte marítimo internacional.

BASC – Certificación de seguridad en la cadena de suministro logístico.

Tabla 10

Indicadores ambientales

Indicador	Valor	Importancia
Neutralidad de carbono	Verificado por SGS Ecuador (abril 2025), periodo 2022	TPG cubrió 100% de emisiones de Alcances 1 y 2, conforme a ISO 14064-1:2018 e ISO 14068-1:2023.
Reducción de emisiones CO ₂	10% menos de emisiones por tonelada transferida (2024 vs. 2023)	Renovación de equipos con motores más eficientes energéticamente.

Indicador	Valor	Importancia
Distintivo Huella de Carbono	Otorgado por MAATE (Programa Ecuador Carbono Cero)	Reconocimiento del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador.
Inversiones en modernización (2026)	Más de US\$50 millones planificadas	Modernización de equipos y tecnologías para mejorar eficiencia energética y reducir emisiones.

Resultados obtenidos y análisis de la experiencia

La experiencia del sistema portuario de Guayaquil evidencia que la sostenibilidad puede integrarse al proceso de modernización de las operaciones portuarias mediante estrategias de electrificación, eficiencia energética, gestión de emisiones y conservación de ecosistemas. Las iniciativas desarrolladas por sus principales terminales muestran avances en la reducción del consumo de combustibles, la incorporación de equipos eléctricos, la optimización del consumo energético y la compensación de emisiones mediante acciones de conservación de manglares.

En este contexto, se identifican tres elementos principales en la experiencia del sistema portuario de Guayaquil: la descarbonización de las operaciones, mediante la electrificación de equipos y la reducción del consumo de combustibles; la gestión ambiental, mediante la cuantificación de emisiones, gestión de residuos y aplicación de sistemas de gestión; y la conservación de ecosistemas, mediante la protección y restauración de áreas de manglar. En conjunto, estas acciones muestran que la incorporación de criterios ambientales en los procesos de modernización tecnológica puede contribuir simultáneamente a mejorar la eficiencia operativa, reducir impactos ambientales y fortalecer la sostenibilidad del sistema portuario.

Puerto de Manta

Caracterización

El Puerto de Manta está ubicado en la provincia de Manabí y es uno de los principales puertos multipropósito del Ecuador. Su ubicación frente al océano Pacífico constituye una

ventaja logística, ya que es un puerto abierto al mar y no depende de un canal de acceso para el ingreso de los buques. Además, su posición permite atender diferentes tipos de embarcaciones, entre ellas portacontenedores, graneleros, buques pesqueros, vehículos y cruceros.

Actualmente, el Terminal Portuario de Manta (TPM) opera el puerto internacional mediante una concesión, mientras que la Autoridad Portuaria de Manta (APM) mantiene funciones relacionadas con la administración portuaria y otros servicios, como el terminal pesquero y de cabotaje. El proyecto de expansión contempla mejoras en infraestructura, incluyendo ampliación de muelles, dragado, nuevos equipos portuarios y ampliación de patios para contenedores.

Desde el punto de vista ambiental, el Puerto de Manta ha incorporado criterios de sostenibilidad dentro de sus operaciones. TPM señala como parte de su misión el desarrollo sostenible del puerto y la ciudad mediante servicios eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Además, ha implementado medidas relacionadas con la reducción de emisiones, eficiencia energética y uso de tecnologías más limpias, convirtiéndose en un caso importante para el análisis de puertos verdes en Ecuador.

Figura 19

Puerto de Manta



Nota. Puerto de Manta. Tomado de *La Historia* (<https://lahistoria.ec/2023/03/29/puerto-de-manta-entre-aguas-bravas/>).

Políticas ambientales

Las políticas ambientales del Puerto de Manta están orientadas a prevenir, controlar y reducir los impactos ambientales generados por las actividades portuarias. Entre los principales aspectos considerados se encuentran las emisiones atmosféricas, generación de residuos, aguas residuales, consumo de recursos hídricos, ruido y posibles afectaciones a los ecosistemas marinos. Estos aspectos son considerados dentro de las evaluaciones ambientales y sociales realizadas para los proyectos de ampliación del puerto.

Otra política importante es la prevención y mitigación de impactos durante las obras de infraestructura y dragado. Los estudios ambientales establecen programas para controlar la erosión y sedimentación, proteger la calidad del agua y prevenir impactos sobre la flora y fauna acuática. Esto permite que las actividades de modernización del puerto se desarrollen considerando medidas de protección ambiental.

Además, TPM incorpora la conciencia ambiental como uno de sus valores institucionales y establece como parte de su misión el desarrollo de una infraestructura portuaria más verde. Esto demuestra que la sostenibilidad se considera no solamente como una obligación legal, sino también como parte de la planificación y operación del terminal.

Gestión energética

La gestión energética del Puerto de Manta busca principalmente reducir el consumo de combustibles fósiles y mejorar la eficiencia de las instalaciones y equipos portuarios. Una de las medidas más destacadas ha sido el reemplazo de tecnologías convencionales por alternativas de menor consumo energético.

Entre las acciones implementadas se encuentra la sustitución de vehículos que utilizaban combustibles fósiles por buses eléctricos, lo que permite disminuir el consumo de combustibles y

las emisiones generadas dentro del recinto portuario. También se realizó el cambio de iluminación tradicional por tecnología LED, que permite obtener un menor consumo eléctrico y una mayor eficiencia.

Otra medida importante fue la instalación de tomas eléctricas para contenedores refrigerados, reemplazando las conexiones que funcionaban con diésel. Esta acción permite reducir las emisiones asociadas al funcionamiento de los contenedores refrigerados y representa una medida concreta de eficiencia energética aplicada a las operaciones portuarias.

Manejo de residuos

El manejo de residuos constituye un componente importante de la gestión ambiental del Puerto de Manta. Debido a sus actividades portuarias, pesqueras y de mantenimiento, se pueden generar residuos comunes, reciclables, peligrosos y especiales, además de aguas residuales. Por esta razón, los proyectos del puerto contemplan programas específicos para su manejo.

El Programa de Manejo de Residuos establece medidas para controlar los desechos generados durante las diferentes etapas de los proyectos. También se contempla un programa específico para el manejo de desechos peligrosos, comunes y especiales, buscando evitar que estos materiales generen contaminación del suelo o del medio marino.

Además, las evaluaciones ambientales consideran la necesidad de controlar los efluentes líquidos y la contaminación del agua. Esto es especialmente importante debido a que las operaciones portuarias se desarrollan directamente en un ambiente costero, donde una gestión inadecuada de residuos o aguas residuales podría afectar al ecosistema marino.

Innovación

La innovación del Puerto de Manta está relacionada con la modernización de su infraestructura y la incorporación de tecnologías más eficientes. Los proyectos de expansión

contemplan nuevos equipos portuarios, grúas Gantry, grúas RTG, portacontenedores, tractocamiones y otros equipos destinados a mejorar la productividad.

En materia ambiental, la incorporación de buses eléctricos, iluminación LED y conexiones eléctricas para contenedores refrigerados constituye una de las principales experiencias de innovación sostenible del puerto. Estas medidas permiten combinar modernización tecnológica con reducción del consumo energético y de las emisiones.

También destaca la modernización de los sistemas de carga y almacenamiento. La ampliación de patios y muelles permite mejorar la capacidad operativa y optimizar los movimientos de mercancías. De esta manera, la innovación no solamente busca aumentar la productividad, sino también generar operaciones más eficientes y con menor impacto ambiental.

Certificaciones y normas

ISO 9001:2015 – Sistema de Gestión de Calidad. Certifica la calidad en la gestión de procesos portuarios.

ISO 14001:2015 – Sistema de Gestión Ambiental. Garantiza la gestión ambiental conforme a estándares internacionales.

OHSAS 18001:2007 / ISO 45001 – Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Certifica la seguridad industrial y ocupacional en operaciones portuarias.[revistafactorverde+1](#)

BASC (Business Alliance for Secure Commerce) – Certificación de seguridad en cadena de suministro logístico. TPM recibió la certificación por octavo año consecutivo (2024) y fue reconocido como la mejor empresa BASC del sector marítimo (2025).

ISPS/PBIP – Código Internacional para la Protección de Buques e Instalaciones Portuarias. TPM fue reconocido por la Armada del Ecuador por la adecuada aplicación del código PBIP, incrementando del nivel 1 al nivel 2 de protección marítima (enero 2024).[agunsa+1](#)

Certificación Punto Verde – Otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador. Reconocimiento por la implementación de proyectos de producción más limpia y gestión ambiental.

Certificación Internacional Huella de Carbono Neutro – Cuantificación y compensación total de emisiones de CO₂ (enero 2021, ratificado 2024).

Tabla 11

Indicadores ambientales

Indicador	Valor	Importancia
Reducción de emisiones CO ₂ (2024)	58% menos de emisiones vs. 2023	Medición de emisiones de carbono de todas las operaciones en 2024, con reducción significativa mediante mejoras operativas.
Reducción de emisiones (2024)	22,32% menos de Kg CO ₂ e	Mejoras en movimientos internos y sustitución de vehículos de combustibles fósiles por alternativas más limpias.
Reutilización de agua (2024)	52 m ³ de agua de PTAR reutilizados para riego de áreas verdes (a mayo 2024)	Tratamiento y reutilización de aguas residuales para reducir consumo de agua potable.
Reducción de neumáticos (2024)	87,91% menos de neumáticos fuera de uso, 68 neumáticos reencauchados	Aprovechamiento y reutilización de neumáticos mediante reencauche.
Iluminación LED	Implementación de luces LED en instalaciones portuarias	Reducción considerable del consumo de energía eléctrica.
Consumo de agua	1.583 m ³ (2018), 1.231 m ³ (2019), 1.250 m ³ (2020), 14.333 m ³ (primer semestre 2021)	Monitoreo de consumo hídrico en operaciones portuarias.
Consumo de energía	92.313 kW promedio mensual (TPM + operadores principales)	Monitoreo de consumo energético del puerto.

Resultados obtenidos y Análisis de la experiencia

Uno de los principales resultados ambientales del Terminal Portuario de Manta (TPM) corresponde a la reducción reportada de las emisiones de carbono durante 2024 respecto de 2023. Este desempeño se relaciona con diferentes iniciativas de producción más limpia, entre ellas la implementación de iluminación LED, la reutilización de 52 m³ de agua tratada para el riego de áreas verdes, el reencauche de 68 neumáticos y la optimización de los movimientos

internos. Estas medidas evidencian la incorporación de criterios de eficiencia energética, aprovechamiento de recursos y prevención de residuos dentro de las operaciones portuarias.

Asimismo, el terminal ha avanzado en la modernización de su infraestructura y equipos, incorporando alternativas como buses eléctricos, conexiones eléctricas para contenedores refrigerados y sistemas de iluminación eficiente. Estas iniciativas permiten vincular la modernización tecnológica con la reducción del consumo de combustibles fósiles y de determinados impactos ambientales.

En términos de gestión ambiental, la experiencia del Puerto de Manta destaca por la combinación de reducción de emisiones, eficiencia energética, reutilización de recursos y gestión de residuos. La incorporación de estas medidas demuestra que las estrategias de sostenibilidad pueden integrarse a los procesos de modernización y productividad portuaria. En este sentido, el caso de Manta constituye una experiencia relevante para el análisis de la transición hacia modelos de operación portuaria más eficientes y ambientalmente responsables en Ecuador.

Comparación de las experiencias latinoamericanas

La comparación de los puertos estudiados permite conocer las principales acciones ambientales, energéticas y tecnológicas que se están aplicando en diferentes países de Latinoamérica. Se consideran los puertos de Chile, Colombia, Brasil, Perú y Ecuador, identificando sus principales avances y características de sostenibilidad.

Escala de valoración:

1 = Inicial | 2 = En desarrollo | 3 = Avanzado | 4 = Consolidado

Puerto	Política ambiental	Gestión energética	Residuos	Innovación	Certificaciones	Indicadores ambientales
Puerto San Antonio	4	3	4	4	4	4
Puerto Valparaíso	4	3	4	3	4	4
Puerto Cartagena	4	4	4	4	4	4
Puerto Santos	4	3	4	4	4	4
Canal de Panamá	4	4	4	4	4	4
Puerto Callao	3	3	3	4	3	3
Puerto Bolívar	3	4	3	4	3	3
Puerto Posorja	4	4	4	3	4	4
Puerto Guayaquil	3	3	3	3	3	3
Puerto Manta	4	4	4	4	3	4

Nota: El Canal de Panamá no es un puerto marítimo propiamente dicho; se incorpora como infraestructura logística estratégica sostenible debido a sus prácticas de gestión ambiental, energética, hídrica y de adaptación al cambio climático.

Interpretación

La tabla permite observar que los casos estudiados presentan diferentes niveles de desarrollo en materia de puertos verdes. Los mayores avances se relacionan con la aplicación conjunta de políticas ambientales, eficiencia energética, manejo de residuos, innovación tecnológica, certificaciones e indicadores de desempeño.

En Ecuador, Puerto Posorja destaca por la integración de tecnología, electrificación, energías renovables y reducción de emisiones. Puerto Manta sobresale por sus acciones de eficiencia energética y reducción de la huella de carbono, mientras que Puerto Bolívar presenta avances importantes en modernización y electrificación de equipos.

Los valores que se colocaron previamente en la tabla de comparación de las experiencias en Latinoamérica del 1 a 4 deben entenderse como una valoración comparativa del presente

estudio, construida a partir de las características, investigaciones y evidencias revisadas de cada puerto estas no representan una certificación oficial ni un ranking publicado por las autoridades portuarias.

Tabla 12

Comparación de prácticas de sostenibilidad en puertos de referencia y ecuatorianos

Puerto	Política ambiental	Gestión energética	Residuos	Innovación	Huella de carbono	Principal fortaleza
San Antonio (Chile)	APL (COLSA), reducción de emisiones y coordinación de actores logísticos	Eficiencia energética (LED, control de combustibles), reducción ~35 % del gasto	Valorización, puntos limpios y recuperación de neumáticos fuera de uso	PCS, AntonIA y ASATruck	HuellaChile (Sello de Excelencia) y acciones de reducción	Coordinación de la comunidad logística
Valparaíso (Chile)	Gestión ambiental integrada y protección del entorno (Política Integrada + ODS)	Eficiencia energética y certificación ISO 50001 en TPS	Reciclaje (incluye electrónicos) y gestión de residuos	PCS Silogport y Plan Maestro a 2043	HuellaChile y seguimiento de GEI	Integración de gestión ambiental y energética
Cartagena (Colombia)	Prevención de impactos, monitoreo agua/aire, reciclaje y recepción de residuos de buques	Luminarias LED, equipos eficientes, telemedición y ~6.000 paneles solares	Recolección selectiva, 4R y operadores autorizados	Puerto 4.0 (plataformas digitales, blockchain, sensores, gemelos digitales)	Emisiones reportadas + reducción significativa por combustibles y energía renovable	Combinación de certificaciones ISO, energía renovable y modelo Puerto 4.0
Santos (Brasil)	Prevención de impactos, monitoreo y NBR ISO 14001	Luminarias LED, equipos eficientes e indicadores de consumo	Recolección selectiva, 4R y Plano de Gestión de Residuos Sólidos	Smart Port (5G, VTMS, gemelo digital)	Datos limitados; énfasis en eficiencia y proyectos de renovables	Escala operativa + transformación digital (Smart Port)
Canal de Panamá	Prevención de contaminación y uso racional del recurso hídrico	Iluminación eficiente, equipos de mayor eficiencia y monitoreo de consumo	Programa de Manejo de Residuos (sólidos, efluentes y peligrosos)	Smart Waterway (reservas en línea, automatización de esclusas)	Enfoque en conservación de agua y reducción de emisiones operativas	Gestión integral del recurso hídrico + ISO 14001 de larga data

Puerto	Política ambiental	Gestión energética	Residuos	Innovación	Huella de carbono	Principal fortaleza
Callao (Perú)	Prevención y control de impactos, cumplimiento normativo por terminal	Electrificación progresiva de equipos y LED	Segregación, valorización y disposición adecuada (incluye MARPOL)	Modernización de grúas, digitalización y electrificación	>20.000 t CO ₂ e evitadas; meta 90 % reducción a 2030; electricidad 100 % renovable	Descarbonización operativa con metas cuantificables
Bolívar (Ecuador)	Prevención de impactos y cumplimiento de normativa ambiental ecuatoriana	Equipos electrificados (e-RTG) y proyectos de eficiencia energética	Clasificación, almacenamiento y disposición (avance hacia cero residuos)	Sistemas OCR y monitoreo de consumo	Inventarios GEI 2019-2020; mejora del índice kg CO ₂ e/TEU	Modernización operativa + certificaciones ISO en contexto agroexportador
Posorja (Ecuador)	Prevención, cuantificación y mitigación de impactos + protección de biodiversidad	Grúas Super Post-Panamax 100 % eléctricas + energía fotovoltaica e hidroeléctrica	Jerarquía de residuos y economía circular (incluye orgánicos)	Puerto inteligente (OCR, FMS, grúas eléctricas)	Primera terminal en cuantificar huella (PECC); >42.300 t CO ₂ evitadas; metas 2030/2050	Descarbonización avanzada + restauración de manglares y Living Seawalls
Guayaquil (Ecuador)	Control de contaminación (agua, suelo, aire) y requisitos a operadores	Electrificación de grúas, LED y equipos más eficientes	Clasificación y gestores autorizados	Plataformas en línea y modernización de equipos	Neutralidad de carbono verificada (Alcances 1 y 2) + distintivo MAATE	Neutralidad de carbono verificada + modernización en entorno urbano-estuarino
Manta (Ecuador)	Prevención y control de impactos (emisiones, residuos, ruido, ecosistemas)	Buses eléctricos, LED y tomas eléctricas para contenedores refrigerados	Manejo de residuos + reutilización de agua de PTAR y reencauche de neumáticos	Modernización de infraestructura y equipos de menor consumo	Certificación Huella de Carbono Neutro; reducción 58 % emisiones (2024)	Medidas concretas de producción más limpia con fuerte reducción de emisiones

Nota. Elaboración propia a partir de la información reportada por las autoridades y operadores portuarios de cada país (2020-2026). Los datos se presentan de forma resumida con fines comparativos.

Matriz de Madurez y Clasificación Cualitativa-Cuantitativa de Puertos Verdes

Para sintetizar el análisis de las dimensiones ambientales, energéticas, tecnológicas y de gobernanza abordadas en este trabajo, se estructuró una Matriz de Madurez de Puertos Verdes. Esta herramienta cuali-cuantitativa permite identificar el nivel de avance funcional de los puertos

seleccionados respecto a la sostenibilidad, evitando una jerarquización exclusivamente competitiva y priorizando el grado de desarrollo de sus prácticas ecológicas e institucionales.

La asignación del Puntaje Promedio de Madurez (P_M) se obtiene mediante la media aritmética de las valoraciones asignadas a las cinco dimensiones clave evaluadas (en una escala de 1 a 4):

$$P_M = \frac{\text{Energía} + \text{Emisiones} + \text{Residuos} + \text{Digitalización} + \text{Gobernanza}}{5}$$

Criterios de Clasificación del Nivel de Madurez:

- **Nivel Inicial (1.0 – 1.9):** Acciones aisladas o de cumplimiento normativo básico, sin programas estructurados de medición de huella ni descarbonización.
- **Nivel Intermedio (2.0 – 2.9):** Programas ambientales en desarrollo, inicio de procesos de electrificación o digitalización parcial, y medición de indicadores básicos.
- **Nivel Intermedio-Avanzado (3.0 – 3.5):** Avances muy consolidados en dimensiones clave, certificaciones operativas y proyectos de electrificación o eficiencia en marcha.
- **Nivel Avanzado (3.6 – 4.0):** Gestión ambiental e institucional consolidada, certificación de huella de carbono neutral, electrificación de infraestructura crítica, automatización e integración de tecnologías de Smart Port.

Tabla 13

Matriz Cualitativa de Madurez Sostenible Portuaria

Puerto	País	Energía	Emisiones / Carbono	Residuos	Digitalización / Innovación	Gobernanza y Certificaciones	Puntaje Promedio (PM)	Nivel de Madurez
San Antonio	Chile	3	4	3	4	4	3.60	Avanzado
Cartagena	Colombia	4	3	4	4	4	3.80	Avanzado
Santos	Brasil	3	3	4	4	4	3.60	Avanzado
Canal de Panamá	Panamá	4	4	4	4	4	4.00	Avanzado
Callao	Perú	3	4	3	3	3	3.20	Intermedio-Avanzado
Posorja	Ecuador	4	4	4	3	4	3.80	Avanzado
Guayaquil (TPG/ATP)	Ecuador	3	4	3	3	3	3.20	Intermedio-Avanzado
Manta	Ecuador	4	4	4	4	3	3.80	Avanzado
Puerto Bolívar	Ecuador	4	3	3	4	3	3.40	Intermedio-Avanzado

Nota. Escala de valoración cuali-cuantitativa: 1 = Inicial; 2 = En desarrollo; 3 = Alto / Intermedio; 4 = Consolidado / Muy Alto. Elaboración propia basada en los datos caracterizados en las secciones precedentes (2026).

Análisis de Resultados de la Matriz

El análisis de los puntajes reflejados en la **Tabla 13** evidencia que la transición hacia un modelo de puerto verde no depende únicamente del tamaño físico del recinto ni del volumen de carga movilizadora, sino de la integración estratégica de sus políticas de gobernanza e inversión tecnológica.

1. **Grupo de Madurez Avanzada ($P_M \geq 3.60$):** En este segmento destacan infraestructuras regionalmente representativas como el Canal de Panamá (4.00), Cartagena (3.80), Posorja (3.80), Manta (3.80), San Antonio (3.60) y Santos (3.60). Estas terminales destacan por combinar certificaciones internacionales de gestión ambiental (ISO 14001, ISO 50001, EcoPorts), programas activos de neutralidad de carbono, adopción de energía renovable u homologación eléctrica en muelles, y plataformas de digitalización para trazabilidad de carga.
2. **Grupo de Madurez Intermedio-Avanzada (P_M entre 3.00 y 3.50):** Recintos como Puerto Bolívar (3.40), Callao (3.20) y Guayaquil (3.20) presentan avances sustanciales en ejes estratégicos específicos —como la incorporación de grúas e-RTG electrificadas o alianzas operativas—. Sin embargo, se encuentran en fase de consolidación para estandarizar sus plataformas integradas de comunidad portuaria (Port Community Systems) y masificar sus programas de economía circular a lo largo de toda su cadena logística.

Esta matriz sirve como diagnóstico inicial para definir Hojas de Ruta y priorizar inversiones públicas y privadas orientadas al cierre de brechas en los componentes de menor puntaje.

Conclusión

Se examinaron las principales estrategias de sostenibilidad portuaria implementadas en la región, destacándose la prevención de la contaminación, la reducción de emisiones, el uso eficiente de la energía, la electrificación de equipos, el empleo de energías renovables, el reciclaje y la economía circular, así como la protección de ecosistemas marinos y costeros. También se identificó la importancia de las certificaciones ambientales y del seguimiento mediante indicadores de consumo energético, emisiones, residuos, agua y huella de carbono.

La comparación permitió reconocer que los puertos analizados comparten prácticas como la modernización tecnológica, el uso de iluminación LED, la gestión y reciclaje de residuos, el monitoreo ambiental, la reducción de emisiones y la búsqueda de una mejora continua. Sin embargo, existen diferencias relacionadas principalmente con el nivel de desarrollo tecnológico, automatización y las características ambientales de cada territorio. Por ejemplo, algunas experiencias se enfocan con mayor intensidad en la transición energética, mientras que otras priorizan la protección de cuencas hidrográficas, manglares, biodiversidad o la modernización de sus equipos.

Se evaluó que las buenas prácticas de sostenibilidad contribuyen al desarrollo sostenible al disminuir las emisiones contaminantes, optimizar el consumo de recursos, mejorar la gestión de residuos, proteger los ecosistemas y aumentar la eficiencia de las operaciones portuarias. Además, estas acciones favorecen la innovación, la competitividad y la generación de empleo sostenible. Experiencias como la de Puerto Cartagena, que logró reducir sus emisiones por unidad de carga y disminuir el consumo de diésel mediante la electrificación y el uso de energía solar, evidencian que las medidas sostenibles pueden producir resultados ambientales cuantificables.

Referencias

- Canal de Panamá. (2025). Una maravilla que conecta al mundo: <https://pancanal.com/>
- Canal de Panamá. (2025). Sistema de Gestión Ambiental: <https://pancanal.com/sistema-de-gestion-ambiental/>
- Canal de Panamá. (2025). *Campuzano, J.* Manejo de Desechos en Panamá:
<https://es.scribd.com/document/585844987/manual-para-manejo-de-materiales-y-desechos-Panama>
- Empresa Oceano. (2026). Puerto Valparaíso ratifica su compromiso con la sostenibilidad:
<https://www.empresaoceano.cl/puerto-valparaiso-ratifica-su-compromiso-con-la-sostenibilidad>
- Empresa Océano. (2026). Puerto San Antonio retiró más de una tonelada de basura en nueva limpieza en sector sur de la ciudad: <https://www.empresaoceano.cl/puertos/san-antonio/epsa/puerto-san-antonio-retiro-mas-de-una-tonelada-de-basura-en-nueva>
- Mundomaritimo c.l. (2025). San Antonio Terminal Internacional es el primer puerto en obtener certificación de Excelencia Huella Chile: <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/san-antonio-terminal-internacional-es-el-primer-puerto-en-obtener-certificacion-de-excelencia-huella-chile>
- PortalPortuario. (2025). San Antonio Terminal Internacional renueva certificaciones ISO 9001 e ISO 14001: <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/sti-obtiene-certificaciones-de-calidad-y-medioambiente>
- Puerto Bolivar. (2025). Materiales y Equipos en Puerto Bolívar:
<https://es.scribd.com/document/328665392/informe-portuarias>

- Puerto Bolívar. (2025). Impacto de las políticas de gestión de residuos sólidos en la salud pública en Ecuador: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2960-24672025000100217&lng=es&nrm=i.p
- Puerto Bolívar. (2025). *Mera, A; Yandry, D.* Diseño de plan de contingencia contra derrames de hidrocarburos en autoridad portuaria de Manta.: <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/8729>
- Puerto Bolívar. (2025). *Universidad Técnica de Machla.* Análisis del impacto logístico en carga y descarga de Puerto Bolívar sobre exportaciones bananeras ecuatorianas 2024: <https://zenodo.org/records/17939982>
- Puerto de Callao. (2025). Perú tendrá nueva tecnología en el puerto del Callao y DP World inicia tecnología shore power: <http://larepublica.co/globeconomia/peru-tendra-nueva-tecnologia-en-el-puerto-del-callao-y-dp-world-inicia-tecnologia-shore-power-4457153>
- Puerto de Callao. (2025). *Espinoza, D.* Plan de Gestión Ambiental Callao: <https://es.scribd.com/document/959252243/Plan-de-Gestion>
- Puerto de Callao. (2026). Sostenibilidad en acción: <https://nexosmasuno.com/en/dp-world-peru-sostenibilidad-logros-2025/>
- Puerto de Cartagena. (2025). Un Puerto Sostenible: https://www.puertocartagena.com/sites/default/files/2024-10/INFORME%20ODS_2022_compressed.pdf
- Puerto de Cartagena. (2025). *Camara Maritima del Ecuador.* Puerto de Cartagena: Líder en Eficiencia Portuaria a Nivel Mundial: <https://www.camae.org/puerto-cartagena/cartagena-lider-portuario-nivel-mundial/>

- Puerto de Cartagena. (2025). *Comisión Interamericana de Puertos*. Guía Para La Certificación Ambiental: https://portalcip.org/wp-content/uploads/2025/11/Guia-Certificacion-Ambiental_2025-rvjd.pdf
- Puerto de Cartagena. (2025). *Revistas Udistrital*. Gestión de residuos sólidos en puertos y terminales marítimos: su manejo en la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/download/4335/6344?inline=1>
- Puerto de Chile. (2024). Memoria Integrada: <https://empresasestatales.gob.cl/informacion-por-empresa?id=12&mem=188&r=9104>
- Puerto de Santos. (2025). Terminales de contenedores de Santos Brasil: <https://www.santosbrasil.com.br/v2021/en/containers>
- Puerto de Santos. (2025). Directrices Para El Desarrollo De Programas De Gestión De Residuos Sólidos : https://www.puertasantander.es/sites/default/files/inline-files/DECLARACI%C3%93N_MEDIOAMBIENTAL_APS_2024.pdf
- Puerto de Santos. (2025). *Global Ports*. Santos extiende incentivos tarifarios a “buques verdes” : <https://web.globalports.com.ar/2025/12/14/santos-extiende-incentivos-tarifarios-a-buques-verdes/>
- Puerto de Santos. (2025). *Mundo Marítimo*. Puerto de Santos acelera su transformación digital con redes 5G, VTMISS y gemelo digital: <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/puerto-de-santos-acelera-su-transformacion-digital-con-redes-5g-vtmis-y-gemelo-digital>
- Puerto del Callao. (2025). *South Pacific Logistic*. Qué saber sobre el puerto marítimo del Callao en Perú: <https://web.splogistics.com/blog/post/572/que-saber-sobre-el-puerto-maritimo-del-callao-en-peru>

Puerto Guayaquil. (2025). <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/terminal-portuario-de-guayaquil-tpg-organizacion-carbono-neutro-sgs-de-ecuador-2025-nota/>:

<https://www.eluniverso.com/noticias/economia/terminal-portuario-de-guayaquil-tpg-organizacion-carbono-neutro-sgs-de-ecuador-2025-nota/>

Puerto Guayaquil. (2025). Gestión de Desechos en Guayaquil:

<https://es.scribd.com/document/338708086/Desechos-Solidos-en-La-Ciudad-de-Guayaquil>

Puerto Guayaquil. (2025). *Orelana*, Infraestructura Marítima en Ecuador: ISO 9001:2015 – Sistema de Gestión de Calidad.

Puerto Posorja. (2025). Dp World Posorja: El Puerto Líder De Ecuador En 2024:

<https://www.dpworld.com/en/news/usa/ecuador-2024-end-of-year-recap>

Puerto Posorja. (2025). DP World amplía la terminal de Posorja con un muelle de 700 metros para aumentar su capacidad a 1,4 millones de TEU.: <https://en.portnews.ru/news/390747/>

Puerto Posorja. (2025). DP World Posorja: El compromiso con un futuro más verde en Ecuador:

<https://www.mundomaritimo.cl/noticias/dp-world-posorja-el-compromiso-con-un-futuro-mas-verde-en-ecuador>

Puerto Posorja. (2025). *Camae*. Dp World Posorja: primer puerto ecuatoriano de contenedores en cuantificar su huella de carbono: <https://www.camae.org/dp-world-posorja/dp-world-posorja-primer-puerto-ecuadoriano-de-contenedores-en-cuantificar-su-huella-de-carbono/>

Puerto San Antonio . (2025). Puerto San Antonio impulsa la innovación logística con AntonIA:

<https://www.puertosanantonio.com/puerto-san-antonio-impulsa-la-innovacion-logistica-con-antonia-la>

Puerto San Antonio. (2020). La historia de un puerto estratégico para San Antonio:

<https://www.puertosanantonio.com/la-historia-de-un-puerto-estrategico-para-san-antonio-y-chile>

Puerto San Antonio. (2025). Puerto San Antonio y la Sostenibilidad:

<https://www.puertosanantonio.com/politica-de-sostenibilidadepsa>

Puerto San Antonio. (2025). El puerto redujo un 35% su gasto energético tras APL:

<https://www.puertosanantonio.com/el-puerto-redujo-un-35-su-gasto-energetico-tras-apl>

Puerto Valparaiso. (2025). *Javiera, G.* Aprueban plan para la gestión de residuos solidos domiciliarios en la Región de Valparaíso:

<https://www.soychile.cl/Valparaiso/Sociedad/2025/11/20/929910/aprueban-plan-residuos-solidos-valparaiso.html>

Puerto Valparaiso. (2025). *Wikipedia*. Puerto de Valparaíso:

https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_de_Valpara%C3%ADso

South Pacific Logistics. (2022). Infografía Puerto San Antonio: Imagen tomada de South Pacific Logistics (2022).

Terminal Pacífico Sur Valparaíso. (2024). TPS profundiza acciones de eficiencia energética y cuidado medioambiental: <https://www.tps.cl/tps-profundiza-acciones-de-eficiencia-energetica-y-cuidado-medioambiental>

CAPITULO 6

Propuesta de Modelo de Puerto Verde para Ecuador y Latinoamérica

Meza Herrera Alexandra

Arboleda Flores Dayana

Duarte Conforme Emily

Moya Willa Melody

Resumen

Este estudio propone un Modelo de Puerto Verde adaptado al contexto regional, fundamentado en pilares críticos que van desde la gestión energética y descarbonización, resaltan la innovación tecnológica y digitalización y analiza la gobernanza ambiental bajo marcos ESG e ISO, el impacto social y compromiso con la comunidad. A través del análisis de casos de éxito en Europa y ciertos países de la región como Brasil, México, Chile y Perú así se identifican las mejores prácticas para su implementación en el sistema portuario ecuatoriano, promoviendo una infraestructura capaz de garantizar la seguridad energética y la resiliencia climática a largo plazo. La transición hacia estos modelos portuarios sostenibles o "Puertos Verdes", se ha convertido en un imperativo estratégico para América Latina, el Caribe, y particularmente para Ecuador.

Palabras clave: Puertos verdes, descarbonización, sistema portuario, desarrollo sostenible, América Latina, Ecuador

Abstract

This study proposes a Green Port Model adapted to the regional context, based on key pillars ranging from energy management and decarbonisation to technological innovation and digitalisation, and analyses environmental governance within ESG and ISO frameworks, as well as social impact and commitment to the community. Through the analysis of success stories in Europe and certain countries in the region, such as Brazil, Mexico, Chile and Peru, best practices are identified for implementation within the Ecuadorian port system, promoting infrastructure capable of ensuring long-term energy security and climate resilience. The transition towards these sustainable port models, or ‘Green Ports’, has become a strategic imperative for Latin America, the Caribbean and, in particular, Ecuador.

Keywords: Green ports, decarbonization, port system, sustainable development, Latin America, Ecuador

Introducción

El concepto de "Puerto Verde" (Green Port) representa un enfoque innovador que busca armonizar las actividades económicas portuarias con la protección del medio ambiente y el bienestar social, dentro de América Latina, donde la economía azul sostenible es clave para la seguridad energética, la inversión en infraestructura portuaria verde no solo mitiga los impactos ambientales, sino que fortalece la competitividad regional en el comercio internacional.

Para Ecuador y sus vecinos regionales, esto implica la necesidad de rediseñar sus modelos operativos para ser resilientes ante perturbaciones climáticas y eficientes en el uso de recursos. Actualmente, los puertos ecuatorianos y latinoamericanos suelen implementar medidas aisladas (como el cambio de luminarias o gestión básica de desechos) sin una hoja de ruta integral. La propuesta sistematiza la transición mediante dimensiones claras, indicadores medibles y estrategias de descarbonización adaptables, permitiendo que el puerto transite de una gestión reactiva a una proactiva y resiliente ante el cambio climático.

La transición en países como Ecuador requiere políticas públicas sólidas, inversión financiera, un cambio cultural y una mayor sostenibilidad social. Así que la transición hacia una logística portuaria sostenible en el siglo XXI ya no es una opción de responsabilidad corporativa, sino una exigencia de competitividad sistémica en el comercio internacional.

En este contexto, el presente capítulo propone un "Modelo de Transición Ambiental y Evaluación de Puertos Verdes (MET - PV)", presentado en este capítulo sintetiza los fundamentos conceptuales (Capítulo 1), el diagnóstico de impactos

ambientales (Capítulo 2), las estrategias de descarbonización (Capítulo 3), las tecnologías limpias (Capítulo 4) y el aprendizaje de los casos de estudio regionales (Capítulo 5), traduciéndolos en una herramienta cuantitativa de evaluación y gestión para los puertos de Ecuador y la región.

Objetivo General

Diseñar un modelo de transición ambiental y evaluación de Puertos Verdes adaptable a las características de los puertos ecuatorianos y latinoamericanos, mediante dimensiones, indicadores y estrategias que permitan orientar la descarbonización, sostenibilidad y transformación ambiental de las operaciones portuarias.

Objetivos Específicos

1. Desarrollar una estructura metodológica que integre los principales componentes de la transición ambiental aplicables a los puertos ecuatorianos y latinoamericanos.
2. Formular lineamientos estratégicos basados en criterios ambientales, operativos y normativos que faciliten la adaptación a diferentes contextos portuarios de la región.
3. Proponer un modelo de transición ambiental que contribuya a la implementación progresiva de prácticas sostenibles y a la mejora del desempeño ambiental y logístico de los puertos.

Metodología Para La Construcción Del Modelo

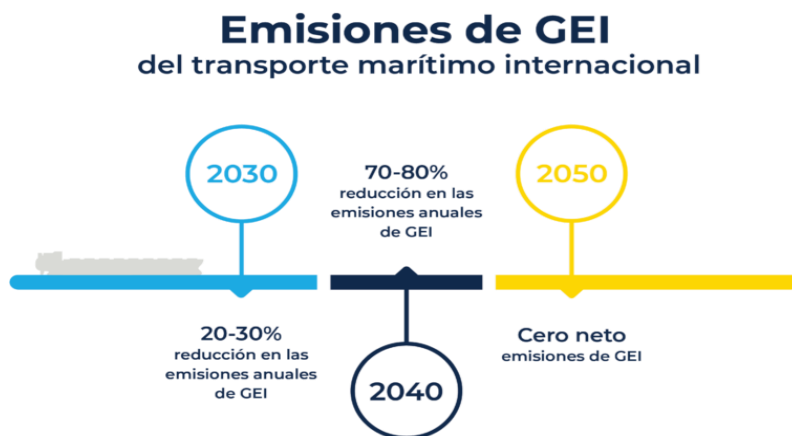
La necesidad de un modelo propio radica en la singularidad del sistema portuario regional. A diferencia de los grandes "hubs" europeos o asiáticos, los puertos de Latinoamérica, y particularmente los de Ecuador como Guayaquil, Posorja o Manta; operan bajo matrices energéticas en transición, marcos regulatorios heterogéneos y una dependencia crítica de exportaciones agroindustriales (como el banano y el camarón). Un modelo local permite capturar estas especificidades, integrando la gestión de la biodiversidad costera y las cadenas de frío de exportación, elementos que son periféricos en los marcos globales pero centrales para la sostenibilidad ecuatoriana.

La implementación del modelo de Puerto Verde en Ecuador y la región debe anclarse en marcos regulatorios sólidos:

Internacional: Las metas de la OMI para la reducción de emisiones de GEI hacia 2050 dictan el ritmo de la transición tecnológica global. Además, los acuerdos sobre la Economía Azul Sostenible promueven la protección de ecosistemas marinos.

Figura 1

Línea de Proyección de Emisiones de GEI



Nota: Proyección por SERTICA en base a los datos de la OMI.

Medidas Obligatorias Para La Descarbonización En El Transporte Marítimo

Es obligatorio para todos los buques calcular su Índice de Eficiencia Energética de Buques Existentes (EEXI) y su Indicador de Intensidad de Carbono operativo (CII). Esto requiere que los buques mejoren su eficiencia energética a corto plazo para reducir las emisiones de GEI.

Índice De Eficiencia Energética Para Buques Existentes

El EEXI es una certificación única que evalúa la eficiencia energética del diseño técnico de un buque. Los buques de 400 GT o más deben calcular su EEXI basándose en distintos valores establecidos según su tipo y tamaño, a menos que estén exentos por su Administración de Bandera.

Figura 2

Índice de Eficiencia Energética para Buques Existentes (EEXI)



Nota: El EEXI es una certificación única para buques existentes, mientras que la calificación CII es una medida continua de eficiencia operativa. Original de SERTICA.

Calificación De Intensidad De Carbono Para Buques

La calificación CII refleja la eficiencia energética operativa del buque. Según el CII del buque, su intensidad de carbono se clasifica en una escala de A a E. Estas calificaciones indican el siguiente nivel de desempeño:

A = Superior Mayor

B = Superior Menor

C = Moderado

D = Inferior Menor

E = Inferior

Se exige que los buques tengan una calificación mínima de C para evitar la aplicación de acciones correctivas. Si un buque obtiene una calificación de D durante tres años consecutivos o de E durante un año, deberá presentar un plan de acción correctiva para mejorar al menos a una calificación C. (Lamberti, 2025)

Entre las medidas para que las empresas navieras reduzcan las emisiones se consideran tales como:

- Limpieza del casco para reducir la resistencia al avance
- Combustibles alternativos
- Reducir el consumo eléctrico
- Optimización de hélices
- Optimización de la velocidad
- Enrutamiento meteorológico

La aplicación de estas normativas actúa como un acondicionador externo que presiona al

puerto a ofrecer servicios como Onshore Power Supply (OPS/Cold Ironing) para apoyar a los buques a mantener su calificación CII.

Regional: La colaboración a través de organismos como el SELA, la CEPAL, la CAF y la Comisión Interamericana de Puertos (CIP) de la OEA es vital para el intercambio de mejores prácticas y el acceso a financiamiento climático.

Local (Ecuador): Es fundamental fortalecer las políticas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, integrando criterios de puerto verde en las concesiones portuarias y en la Ley Orgánica de Navegación. (Lamberti, 2025)

La investigación sobre el desarrollo de puertos verdes en América Latina sigue en una etapa incipiente, frecuentemente obstaculizada por la falta de datos accesibles. Esta limitación de datos restringe la capacidad de los profesionales para implementar sistemas de monitoreo integrales o validar la efectividad de los indicadores internacionales dentro de los entornos operativos locales. En consecuencia, los administradores portuarios de la región tienen dificultades para definir un grado claro de sostenibilidad, ya que carecen de los sistemas de información necesarios y de los puntos de referencia establecidos adaptados a su contexto regional específico. (Fei & Shi, 2026)

Diagnóstico De La Situación Actual

A través de los años se han resaltado temáticas relevantes para el sector portuario, problemáticas no incipientes ya que estas se observaban desde hacía algún tiempo, haciendo así más evidente la necesidad de contar con un sector portuario sostenible y resiliente. Sumado a ello, tanto a nivel mundial como regional, los países en general se enfrentan hoy a dificultades e incertidumbres adicionales generadas por una serie de crisis en cascada, en consecuencia, si se traslada este panorama a los puertos de América Latina, se evidencia que el desarrollo sostenible aún es un tema emergente en los puertos latinoamericanos y está siendo abordado, básicamente, desde una perspectiva medio ambiental y en algunos casos, social, considerando que, evidentemente, la actividad en ellos es un reflejo de la vida económica de cada país.

El desarrollo de puertos verdes en América Latina es un proceso heterogéneo y aún incipiente en muchas áreas. Mientras que algunos países han avanzado en estrategias de descarbonización, la región en su conjunto enfrenta desafíos estructurales como la dependencia del transporte por carretera, altos costos iniciales para tecnologías limpias y debilidades institucionales en políticas públicas de logística sostenible. (Fei & Shi, 2025)

Los marcos internacionales de puertos verdes, como los que prevalecen en el Norte Global, presentan limitaciones significativas cuando se aplican a la región latinoamericana. Una de las principales limitaciones es un marcado sesgo geográfico en la literatura, que favorece los marcos de sostenibilidad diseñados específicamente para las ciudades portuarias del Norte Global. Esta desconexión genera desafíos en cuanto a la aplicabilidad, ya que estos modelos a menudo no toman en cuenta los atributos socioeconómicos y ambientales específicos inherentes al Sur Global. (Ogara, 2023)

Varios casos de estudio ilustran el avance regional:

- **Brasil:** El Puerto de Santos, el más grande de la región, lidera con iniciativas de electrificación de grúas y exploración de tecnologías de hidrógeno verde (H2V). Por su parte, el Puerto de Pecém se ha consolidado como un hub de hidrógeno verde, implementando proyectos piloto para vehículos pesados y maquinaria de terminal alimentada por celdas de combustible.
- **México:** El Puerto de Manzanillo ha sido objeto de análisis bibliométricos y revisiones sistemáticas que destacan su enfoque en modelos de gobernanza y estrategias de descarbonización, posicionando a México en la vanguardia de la producción científica sobre sostenibilidad portuaria en la región.
- **Chile:** Las redes portuarias chilenas han evaluado la factibilidad de sistemas de monitoreo de sostenibilidad basados en indicadores multidimensionales (ROLAP), subrayando la necesidad de cambios culturales y políticas públicas para fomentar nuevas tecnologías. (Durán y otros, 2021)
- **Perú:** El Muelle Norte del Puerto del Callao ha integrado digitalización y automatización para mejorar la eficiencia de la cadena de suministro, aunque enfrenta retos en la adaptación de la fuerza laboral a estas tecnologías. Asimismo, se ha identificado una correlación negativa entre el aumento del nivel del mar y el tráfico de carga, lo que obliga a invertir en infraestructura de adaptación. (Fei & Shi, 2025)

Barreras Para La Transición Ambiental

Barreras Económicas Y Financieras

La transición hacia tecnologías limpias (como la electrificación de muelles, sistemas de suministro eléctrico en tierra o cold ironing, y maquinaria portuaria híbrida o eléctrica) requiere un capital masivo que muchos puertos de la región no pueden asumir fácilmente. Estos altos costos de inversión inicial se encuentran entre las principales razones, que frenan el desarrollo sostenible en los puertos latinoamericanos.

Además, a diferencia de Europa o Norteamérica, en América Latina son escasos los subsidios gubernamentales o créditos verdes blandos dirigidos específicamente a la descarbonización de la infraestructura portuaria, la falta de incentivos financieros públicos es un indicador de los impedimentos para la transición.

Las medidas ecoeficientes suelen justificarse económicamente a mediano y largo plazo, lo que choca con la búsqueda de rentabilidad financiera inmediata por parte de operadores privados u operadores bajo concesión, se tiene la idea de que Retorno de inversión (ROI) a largo plazo no brinda seguridad y el proceso es tardío. (Wan y otros, 2017)

Barreras Normativas Y Regulatorias

Coexisten múltiples normativas locales, nacionales e internacionales que a veces se contradicen o no están actualizadas frente a las exigencias del cambio climático, esta fragmentación y obsolescencia legal llega a presentar conflictos los cuales influyen en la opinión estratégica de los puertos verdes.

Se evidencia la débil fiscalización y cumplimiento, debido a que, aunque existan leyes ambientales estrictas sobre el papel (como las normativas derivadas de convenios

internacionales), los organismos de control en la región suelen carecer de recursos técnicos y

financieros para monitorear eficazmente las emisiones, vertidos e impactos operativos en tiempo real.

La falta de un marco regulatorio unificado para la transición: genera incertidumbre jurídica para los inversores, esta ausencia de políticas de Estado a largo plazo orientadas a "Puertos Verdes" es una de las principales barreras encontradas. (Wan y otros, 2017) ***Barreras Operativas Y Tecnológicas***

La rigidez de la infraestructura existente presenta como muchos puertos latinoamericanos operan al límite de su capacidad física y estructural. Modificar muelles, patios de contenedores o sistemas energéticos sin interrumpir la cadena de suministro global representa un desafío logístico crítico.

El desarrollo y suministro local de combustibles de bajas o cero emisiones (como el hidrógeno verde, amoníaco o metanol) es aún incipiente en la región, este acceso limitado a tecnologías limpias y combustibles alternativos dificulta la planificación de un transporte marítimo sostenible.

Y por último existe una brecha enorme entre los grandes puertos *hub* concesionados a multinacionales y los puertos públicos medianos o pequeños, que carecen de sistemas digitalizados de gestión ambiental. (Durán y otros, 2021)

Barreras Institucionales Y De Gobernanza

Modelos de gobernanza centralizados o burocráticos: La toma de decisiones en los sistemas portuarios estatales suele ser lenta, lo que dificulta la adopción ágil de estrategias de sostenibilidad.

Falta de coordinación interinstitucional: La gestión de un puerto involucra a autoridades marítimas, ministerios de ambiente, aduanas, municipios y operadores

privados. La

falta de alineación entre sus agendas debilita la implementación de un modelo de transición integral.

Resistencia al cambio y cultura organizacional: La sostenibilidad ambiental suele verse erróneamente como un gasto o una traba burocrática, en lugar de una ventaja competitiva y una necesidad operativa.

Barreras Académicas Y De Capital Humano

Brecha de talento técnico calificado: Existe escasez de profesionales en la región especializados simultáneamente en ingeniería portuaria, logística internacional y gestión ambiental avanzada.

Falta de datos y líneas base confiables: La ausencia de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y diagnósticos de impacto ambiental actualizados en cada puerto dificulta el diseño de metodologías con objetivos medibles. (Wan y otros, 2017)

Oportunidades Para La Transformación Portuaria

La CEPAL (2015) señala que, en el ámbito portuario, el desarrollo sostenible considera su desempeño desde cuatro dimensiones diferentes y complementarias, a saber: económica, social, ambiental e institucional. Al respecto, la dimensión económica de la sostenibilidad busca maximizar la eficiencia económica de la actividad y la inversión en los puertos, lo que se traduce en la búsqueda del mayor beneficio social neto posible alcanzable en proyectos o políticas que puedan ser aplicadas en un puerto. Por su parte, la dimensión ambiental propone reducir o eliminar el impacto que pudiera ejercer toda operación del puerto sobre el medioambiente, conservando los recursos con miras hacia el futuro, así como la capacidad y calidad de los ecosistemas. En cuanto a la dimensión social, esta busca tener en cuenta los impactos que pudieran tener las operaciones y el desarrollo del puerto, aportando a la protección social, el acceso a la educación y al desarrollo de la cultura.

Finalmente, en la dimensión institucional se propone asegurar que el funcionamiento, los roles públicos y privados, y los cambios de organización en un puerto sean eficientes y eficaces, de forma tal que permitan la adaptación oportuna a los cambios tecnológicos, de la industria, del mercado y del medio que la sustenta, manteniendo suficiente capacidad financiera, administrativa y organizativa tanto a mediano como a largo plazo.

La transición hacia puertos ecológicos y sostenibles en países como Ecuador requiere abordar varias brechas sistémicas. Las investigaciones indican que el cambio no es meramente técnico, sino que exige un enfoque multidimensional:

Políticas públicas y gobernanza: El desarrollo de tecnología ecológica y

operaciones portuarias sostenibles requiere importantes iniciativas de políticas públicas que orienten la transición. En el contexto ecuatoriano, existe una necesidad específica de políticas públicas

sólidas que aborden los altos costos asociados con las certificaciones ambientales y sociales. (Durán y otros, 2021)

Recursos financieros y humanos: Un obstáculo importante para cumplir con los indicadores de desempeño ambiental es la limitación de los recursos financieros destinados al sector ambiental. Además, los puertos enfrentan dificultades para contratar y retener a profesionales especializados que gestionen estas áreas ambientales.

Transformación cultural y social: El desarrollo de puertos verdes exige cambios culturales fundamentales dentro de las organizaciones portuarias. En Ecuador, la dimensión social sigue siendo particularmente vulnerable, caracterizada por deficiencias persistentes en las condiciones laborales y la equidad de género. (Figueiredo y otros, 2016)

Integración tecnológica y operativa: Si bien se están llevando a cabo algunos procesos de modernización y digitalización de la trazabilidad, existe una brecha tecnológica persistente que afecta a los productores más pequeños y limita la competitividad general. Para cerrar esta brecha, es necesario integrar las percepciones subjetivas de los trabajadores —como la satisfacción laboral y el clima organizacional— con indicadores objetivos de operación y sustentabilidad, a fin de garantizar una evaluación integral del desempeño portuario.

Infraestructura y adaptación climática: Dada la correlación negativa entre el aumento del nivel del mar y el tráfico de carga, la inversión en infraestructura portuaria es esencial para adaptarse al cambio climático y apoyar la conversión a puertos verdes e inteligentes. (Donoso y otros, 2025)

Propuesta De Modelo De Puerto Verde Para Ecuador Y Latinoamérica

Un modelo de puerto verde para Ecuador y Latinoamérica requiere integrar gobernanza participativa, tecnologías limpias, evaluación cuantitativa y políticas de incentivos alineadas con la sostenibilidad ambiental y la competitividad económica. La evidencia de modelos aplicados en países en desarrollo y regiones como Sudamérica, África, Asia y Centroamérica ofrece una base transferible para formular una propuesta adaptada al contexto ecuatoriano y latinoamericano.

El modelo tiene como objetivo reducir el impacto ambiental de las operaciones portuarias sin afectar la eficiencia logística, y podría ser aplicable progresivamente a puertos como Guayaquil, Manta, Posorja o Esmeraldas.

MET-PV- Modelo de Evaluación y Transición Hacia Puertos Verdes Para Ecuador y Latinoamérica

El modelo de puerto verde MET – PV presenta 10 dimensiones las cuales cuentan con indicadores, ponderaciones, fórmula, niveles de madurez, diagnóstico, estrategias, hoja de ruta, validación.

La revisión sistemática realizada en 2025 por J. Mar sobre métodos, dimensiones e indicadores utilizados para evaluar puertos verdes. Señala que los sistemas de evaluación deben ser integrados, sistemáticos, operables y dinámicos, y que los indicadores suelen abarcar aspectos ambientales, sociales y económicos.

El modelo propone como una herramienta de evaluación integral destinada a determinar el nivel de sostenibilidad y preparación de un puerto para avanzar hacia un modelo de operación más verde. Se busca integrar los aspectos ambientales, económicos, sociales, tecnológicos, y operativos de la actividad portuaria, permitiendo

identificar las principales fortalezas y brechas de cada instalación.

La propuesta toma como fundamento la literatura científica que existente sobre evaluación de puertos verdes:

Fei, Shi y Pan (2025) señalan que los sistemas de evaluación deben construirse mediante indicadores que sean integrales, sistemáticos, operables y capaces de adaptarse a cambios en el desarrollo portuario. Además, su revisión identifica que los indicadores ambientales, económicos, y sociales constituyen componentes fundamentales de la evaluación de un puerto verde.

Asimismo, Boca Santa et al. (2025) proponen un modelo de valuación basado en diez indicadores y 45 subindicadores, entre ellos reducción de emisiones, gestión energética, calidad de aire, contaminación acústica, gestión del agua, costos y ahorros, materiales y recursos de gestión de proyectos de construcción, indicadores sociales gestión de operaciones portuarias. Los autores además validaron estos indicadores mediante expertos del sector portuario.

Tabla 1

Modelo de Evaluación de Puertos Verdes Basado en 10 Indicadores

N.º	Dimensiones	¿Qué evalúa?
D1	Gestión de emisiones y cambio climático	CO ₂ , gases contaminantes y huella de carbono
D2	Energía y eficiencia energética	Consumo energético, eficiencia y energías limpias
D3	Gestión del agua	Consumo, tratamiento, reutilización y calidad del agua
D4	Gestión de residuos y materiales	Reducción, reutilización, reciclaje y disposición
D5	Calidad ambiental y ecosistemas	Aire, ruido, suelo, biodiversidad y ecosistemas

D6	Infraestructura y construcción sostenible	Infraestructura, mantenimiento y proyectos sostenibles
D7	Tecnología, innovación y digitalización	Tecnologías limpias, automatización y monitoreo
D8	Eficiencia operativa y logística verde	Productividad, equipos, tiempos y operaciones
D9	Dimensión social y relación puerto-ciudad	Trabajadores, comunidad, seguridad y participación
D10	Gobernanza, economía y gestión sostenible	Políticas, inversión, costos, cumplimiento y gestión

Nota: Adaptación de la literatura existente (Boca Santa et al. (2025)).

Tabla 2

Escala de Evaluación Basado en Indicadores

Valor	Nivel	Descripción
1	Inicial	No existe o es mínima la implementación
2	Básico	Existen algunas acciones aisladas
3	En desarrollo	Existen programas y acciones parcialmente implementadas
4	Avanzado	La gestión sostenible está integrada en gran parte de las operaciones
5	Consolidado	La sostenibilidad está integrada, medida y mejorada continuamente

Nota: Propuesta Metodológica del Puerto Verde “MET-PV”

Diagnóstico

Emisiones → Nivel 1 - Inicial → **Brecha Alta**

Energía → Nivel 4 - Gestionado → **Desempeño Bueno**

Agua → Nivel 5 - Optimizado → **Fortaleza**

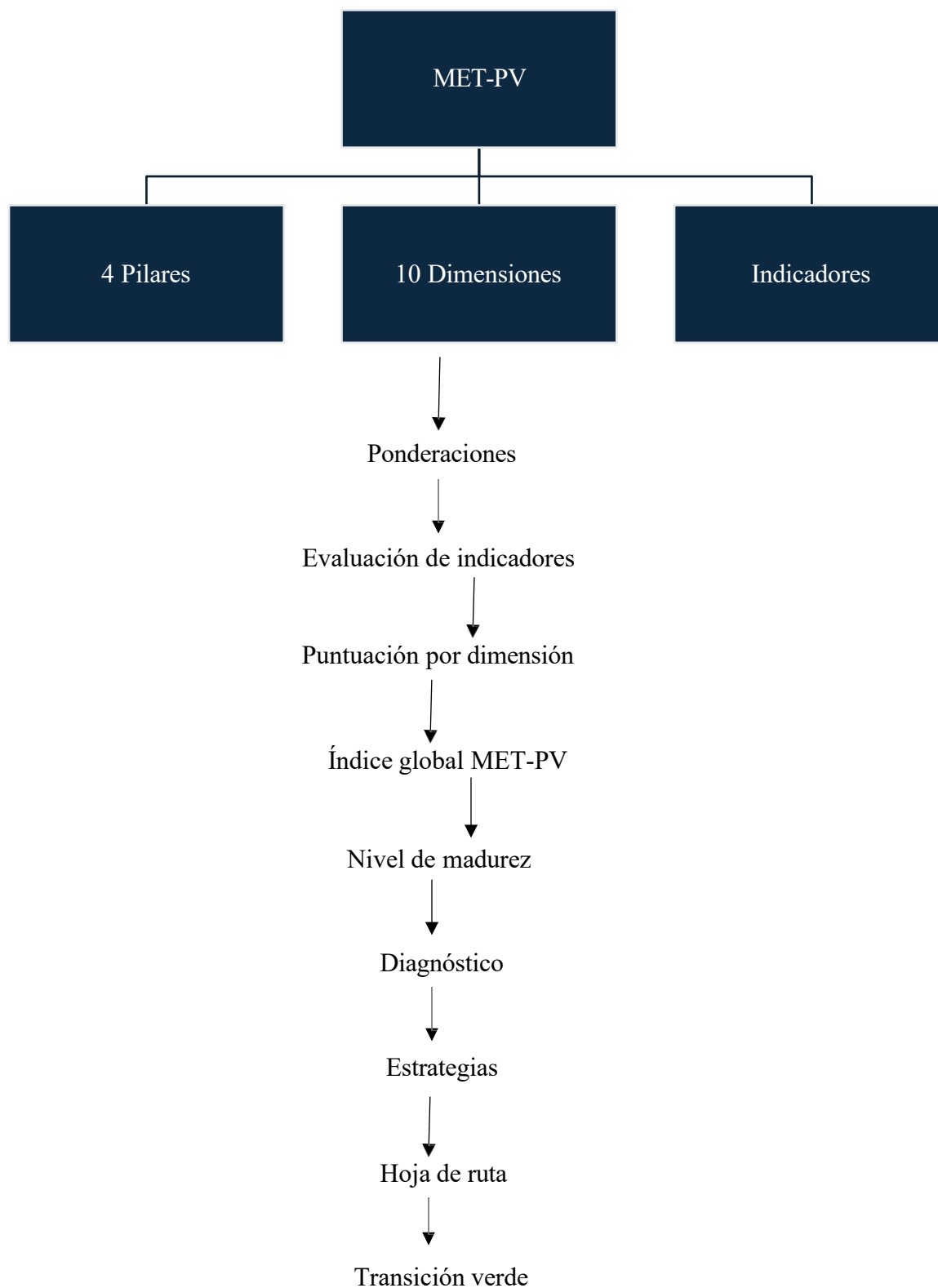
Residuos → Nivel 3 - Definido → **Desempeño Bueno**

Tecnología → Nivel 2 - Básico → **Área De Mejora**

Así el diagnóstico permite determinar dónde se debe intervenir el puerto.

Estrategias

- **Problema:** alto nivel de emisiones.
- **Estrategia:** implementar progresivamente equipos eléctricos y tecnologías de bajas emisiones.
- **Problema:** alto consumo energético.
- **Estrategia:** incorporar sistemas de eficiencia energética y generación renovable.
- **Problema:** baja gestión de residuos.
- **Estrategia:** implementar separación en fuente, reciclaje y valorización de residuos.
- **Problema:** baja participación comunitaria.
- **Estrategia:** fortalecer los mecanismos de comunicación y participación entre puerto y comunidad.



Dimensiones Del Modelo

La construcción de un puerto verde combina un objetivo macro de protección ambiental con innovación tecnológica inteligente, donde el puerto verde define la meta de sostenibilidad y el puerto inteligente aporta las herramientas para reducirla contaminación. Un modelo cuantitativo basado en el marco DPSIR (Drivers, Pressures, States, Impacts, Responses) permite evaluar el desarrollo del puerto verde con 16 indicadores jerárquicos, generando comparaciones entre puertos y herramientas de autoevaluación. La gobernanza para la sostenibilidad constituye una dimensión novedosa que incluye 71 factores clasificados en características físicas, diseño del puerto, conectividad, operación portuaria, optimización puerto-granja y gobernanza, validados mediante revisión sistemática y encuestas.

Una metodología integral para desarrollar un puerto verde cubre las fases de planificación, diseño, construcción y operación, con un marco de evaluación que otorga una puntuación final sobre qué tan verde es el puerto, probada en el caso de Amatique en Guatemala. Las prácticas clave de gestión portuaria verde incluyen gestión ambiental interna, operaciones sostenibles, tarifas ambientales, tecnología verde y colaboración en la cadena de suministro.

Tabla 3

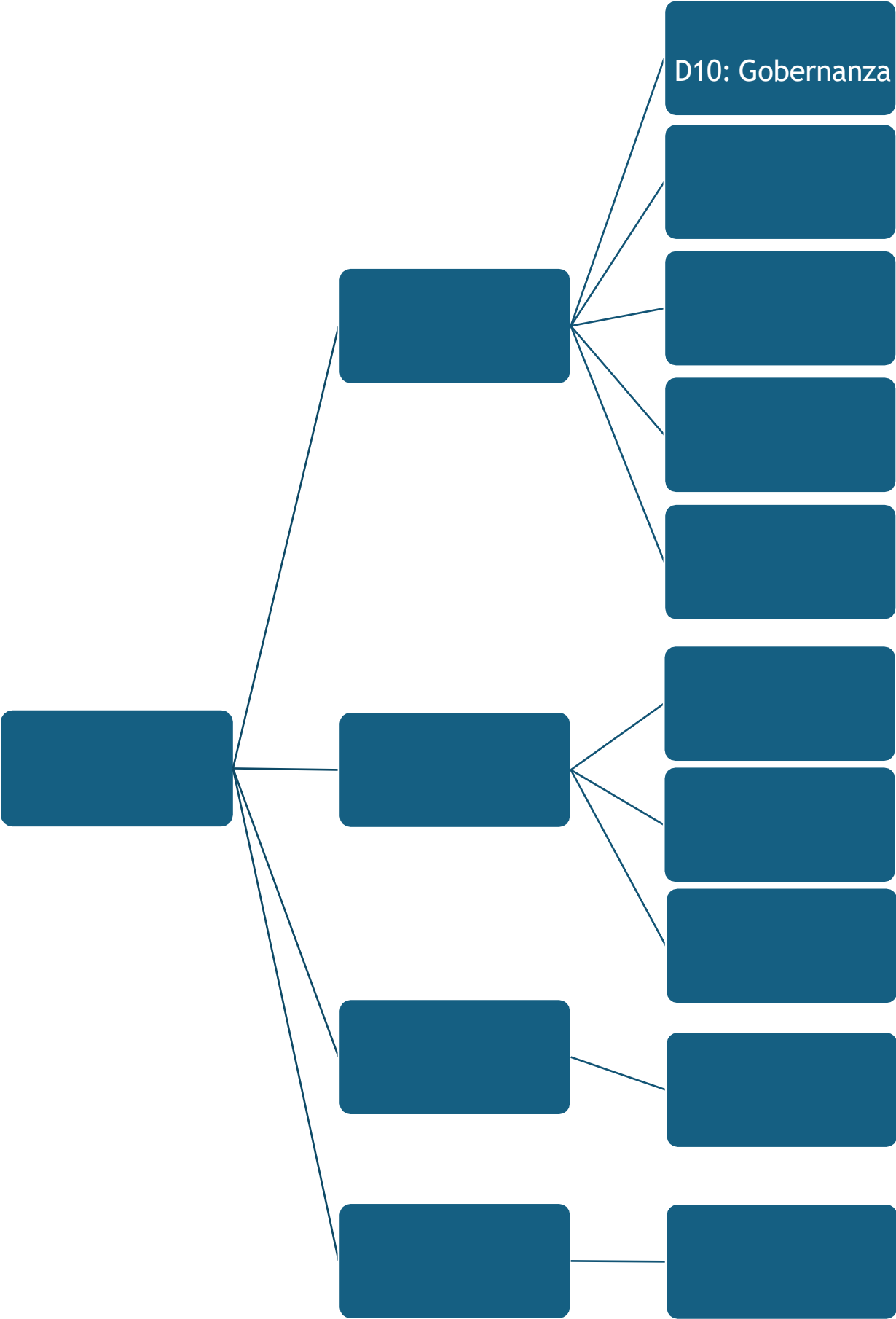
Pilares Superiores de Dimensión de Evaluación

Perspectiva del desarrollo sostenible	¿Qué considera en el ámbito portuario?	Aplicación en el modelo de transición ambiental
---------------------------------------	--	---

Económica	Busca que el puerto sea eficiente, competitivo y productivo, garantizando su desarrollo y continuidad en el tiempo.	Optimización de recursos, reducción de costos, eficiencia operativa e inversiones en tecnologías sostenibles.
------------------	---	---

Ambiental	Considera la prevención y reducción de los impactos ambientales generados por las actividades portuarias.	Reducción de emisiones, gestión de residuos, ahorro energético, control de contaminación y protección de ecosistemas.
	Considera los efectos de la actividad portuaria sobre los trabajadores, la comunidad y la ciudad.	Capacitación ambiental, seguridad laboral, participación comunitaria y reducción de impactos sobre las poblaciones cercanas.
Social	Se relaciona con la gestión, coordinación y participación de las instituciones y actores vinculados con el puerto.	Normativa ambiental, coordinación entre autoridades y operadores, seguimiento de indicadores y establecimiento de responsabilidades.
Institucional		

Nota: Tabla de creación propia del grupo.



Estrategias De Descarbonización

Los puertos sostenibles se deben centrar en mejorar la eficiencia operativa y reducir las emisiones contaminantes, lo cual se logra mediante la implementación de tecnologías más limpias y eficientes, como la electrificación de equipos de manipulación de carga, el uso de energías renovables y la optimización de la logística portuaria.

Como parte de las estrategias para lograr descarbonizar un medio tan lleno de combustibles, emisiones y posibles contaminantes podemos dividir el proceso en fases. ***Fase 1: Matriz De Madurez De Sostenibilidad Portuaria (MMSP)***

Antes de proponer estrategias, el puerto debe saber dónde está parado. Consiste en diseñar una rúbrica que clasifique al puerto en diferentes niveles de desarrollo ambiental para cada una de las 5 barreras identificadas:

- **Nivel 1 (Inicial/Reactivo):** Cumplimiento mínimo legal, sin presupuesto asignado a la transición.
- **Nivel 2 (Básico/En Desarrollo):** Identificación e indicios de implementación de problemáticas encontradas.
- **Nivel 3 (Definido/Moderado):** Iniciativas aisladas (ej. cambio de luminarias a LED, medición básica de huella de carbono).
- **Nivel 4 (Avanzado/Gestionado):** Sistema de gestión ambiental integrado a la estrategia de negocio y metas de descarbonización a mediano plazo.
- **Nivel 5 (Líder/Consolidado):** Automatización total, uso de combustibles alternativos, economía circular y gobernanza verde consolidada.

Fase 2: Índice De Priorización De Barreras (IPB)

Dado que los recursos en los puertos latinoamericanos son limitados, no se pueden atacar

todas las barreras al mismo tiempo. El mecanismo debe incluir una herramienta cuantitativa simple (por ejemplo, mediante encuestas estructuradas a los *stakeholders* portuarios usando escalas de Likert) que evalúe dos variables por cada barrera:

1. **Grado de Impacto:** Cuánto frena esa barrera la transición del puerto.
2. **Factibilidad de Mitigación:** Qué tan viable es superarla a corto/mediano plazo con los recursos actuales. *Al cruzar ambas variables en una matriz de prioridad, el modelo le indica automáticamente al puerto en qué debilidades debe enfocar sus lineamientos estratégicos inmediatos.*

Fase 3: Auditoría De Ecoeficiencia Operativa Y Brecha Tecnológica

Un análisis técnico enfocado en la infraestructura física y los flujos logísticos. Consiste en listas de verificación (*checklists*) estandarizadas para medir la brecha existente en:

- Eficiencia energética en terminales (infraestructura de atraque y grúas).
- Grado de digitalización de la cadena logística (para reducir tiempos de espera de buques y camiones, disminuyendo emisiones indirectas).
- Capacidad de gestión de residuos según estándares internacionales.

Al reducir el consumo de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, los puertos contribuyen con la mitigación del cambio climático y mejoran la calidad del aire en las comunidades circundantes. Así las cosas, las autoridades del puerto y los operadores de terminales han comenzado a darse cuenta del desafío que representa la eficiencia energética, ya que muchos de ellos están cada vez más preocupados por sus perfiles de emisión, además de que la regulación en los

dominios portuarios se ha hecho más rigurosa, mayormente con relación a los óxidos de azufre y de nitrógeno (Acciaro et al., 2014). En el futuro, se espera que esto sea aún más relevante con respecto al material particulado (PM por sus siglas en inglés)

y otros contaminantes climáticos de corta vida, cuando la sociedad sea más consciente de los impactos locales de la actividad portuaria.

Plan De Gestión Ambiental

Los puertos sostenibles de la región también se preocupan por la gestión adecuada de los residuos y la protección del medio ambiente marino. Algunos implementan sistemas de gestión de residuos eficientes y promueven la separación y reciclaje de materiales. Asimismo, se establecen programas de monitoreo y protección de los ecosistemas marinos, evitando la contaminación del agua y promoviendo la conservación de la biodiversidad, esfuerzos que contribuyen a mantener la salud de los océanos y preservar los recursos naturales para las generaciones futuras.

En un principio, bajo el concepto de desarrollo sostenible se buscaba hacer compatible el desarrollo económico con la protección y el uso adecuado de los recursos naturales. Esta visión fue ampliándose a otras dimensiones entendidas necesarias para el desarrollo como, la dimensión social e institucional.

Actualmente, el desarrollo sostenible es un concepto ampliamente utilizado, donde el concepto de sostenibilidad está siendo aplicado en forma emergente por autoridades nacionales del sector transporte y muchos otros campos de actividad e industrias, fuertemente impulsada por iniciativas que incorporan la variable ambiental y la responsabilidad social empresarial en la gestión estratégica de las empresas.

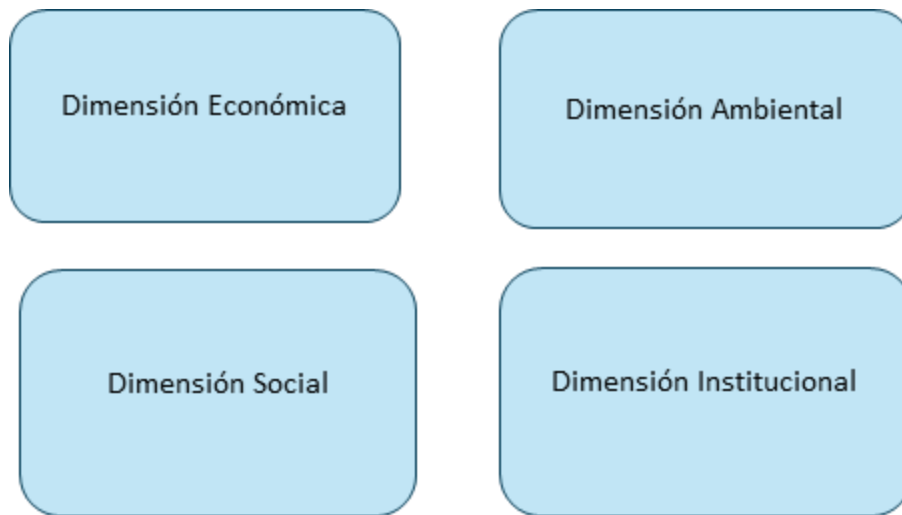
Sin embargo, una fuerte limitación metodológica no ha permitido una más extensa aplicación del concepto. Aún es una cuestión crítica y no resuelta para la gestión del desarrollo sostenible, la disponibilidad de metodologías que permitan evaluar el impacto del accionar de las instituciones y empresas en cada una de las dimensiones de la

sostenibilidad, determinando el

valor y las variables que cuantifiquen la verdadera contribución o aporte de esa gestión al desarrollo sostenible. (Pereira Soto, 2024)

Figura 3

Dimensiones de sostenibilidad



La actividad portuaria no está ajena a estos paradigmas de la gestión del desarrollo. Los puertos conforme su crecimiento y tamaño resultan en sistemas muy complejos. Por lo general, la actividad se organiza bajo el modelo *Landlord*, que corresponde a la gestión basada en una operación e inversión indirecta donde la autoridad portuaria provee de suelo o infraestructura para que terceros desarrollen las actividades principales y presten servicios bajo criterios comerciales, de eficiencia y seguridad.

Conforme se expande la actividad los puertos desarrollan comunidades portuarias amplias y complejas, cuyos operadores y agentes prestan múltiples servicios portuarios y logísticos. Las zonas portuarias pueden poseer importantes porciones de terrenos dedicadas a diversas actividades donde los operadores desarrollan sus operaciones, negocios, servicios e inversiones en diversos tipos de terminales y áreas de

desarrollo.

Sistema De Indicadores De Sostenibilidad (KPIs)

Fórmula Del MET-PV

Tabla 4

Ponderaciones del Modelo (Véase Tabla 1)

Dimensión	Peso propuesto
D1. Emisiones y cambio climático	15%
D2. Energía	12%
D3. Agua	10%
D4. Residuos y materiales	10%
D5. Calidad ambiental	10%
D6. Infraestructura	10%
D7. Tecnología	8%
D8. Eficiencia operativa	10%
D9. Social	7%
D10. Gobernanza y economía	8%
TOTAL	100%

Nota: Propuesta de trabajo en base a que existen modelos de evaluación de Puertos Verdes que utilizan AHP para determinar el peso de los criterios y posteriormente agregan las evaluaciones para obtener un resultado global Fei et al (2025).

Índice De Madurez De Puerto Verde (IMP-V)

La fórmula general sería:

$$IMP-V = \sum_{i=1}^{10} (P_i \times W_i) \times 20$$

Donde P_i es el puntaje promedio de la dimensión en escala 1-5, W_i es la ponderación en porcentaje, escalando el resultado final de 0 a 100 puntos).

El resultado se puede convertir a una escala de 0 a 100 puntos: Esto se inspira en la

lógica de modelos cuantitativos existentes, pero la fórmula y su aplicación concreta serían parte del MET- PV propuesto.

Wan et al. desarrollaron, por ejemplo; un modelo cuantitativo con 16 índices y utilizaron AHP (por sus siglas en inglés, *Analytic Hierarchy Process*, o Proceso Analítico Jerárquico) para determinar pesos, demostrando su aplicación mediante un estudio comparativo de cinco puertos.

Tabla 5

Niveles de Madurez del IMP - V

Rango de Puntaje (IMP-V)	Nivel de Madurez	Descripción Operativa
0 – 20 pts	Nivel 1: Inicial / Reactivo	Cumplimiento mínimo legal, sin estrategia ni presupuesto verde.
21 – 40 pts	Nivel 2: Básico / En desarrollo	Acciones aisladas (ej. cambio de luminarias) sin medición formal.
41 – 60 pts	Nivel 3: Definido / Moderado	Programas integrados parcialmente con metas a mediano plazo.
61 – 80 pts	Nivel 4: Avanzado / Gestionado	Sostenibilidad integrada a la estrategia de negocio y operaciones.

81 – 100 ptos

Nivel 5: Líder / Consolidado

Descarbonización,
automatización, economía
circular y mejora continua.

Nota: Tabla de creación propia

La implementación del método AHP, nos permitirá organizar el problema en una estructura de tres niveles:

Meta u objetivo principal: Lo que se quiere lograr.

Criterios (y subcriterios): Los factores que se deben tomar en cuenta para elegir.

Alternativas: Las diferentes opciones disponibles.

Una vez armada la jerarquía, se comparan los elementos de dos en dos (comparaciones por pares) usando una escala numérica del 1 al 9. Esto sirve para determinar qué criterio o alternativa es más importante que otra.

La combinación de los datos cualitativos y cuantitativos permite medir tanto opiniones expertas o juicios subjetivos como datos numéricos reales. Además, mide la consistencia, ya que calcula una "razón de consistencia" para asegurar que las comparaciones por pares no tengan contradicciones lógicas graves (lo ideal es que sea menor a 0.1). Y facilita la priorización, debido a que ordena las alternativas de mejor a peor según el peso de los criterios. (Merino y otros, 2020)

Fórmula Explicativa de Cálculo Escalonado

- **Puntaje de Indicador ($I_{i,j}$):** Evaluación en escala de 1 a 5.
- **Puntaje de Dimensión (P_i):** Promedio aritmético de sus n indicadores:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_{i,j}}{n}$$

- **Puntuación Escala 100 de la Dimensión (D_i):** $D_i = P_i \times 20$.
- **Contribución al IMP-V Total:** $D_i \times W_i$.

Índice de Evaluación de Puerto Verde

De la aplicación de herramientas de planificación estratégica mencionadas surgen los objetivos (económicos, medio ambientales, sociales e institucionales) que una autoridad o empresa portuaria debe alcanzar para asegurar el desarrollo sostenible y crecimiento de su puerto. Los objetivos económicos pueden ser: el incremento del volumen de negocio, aumentar los ingresos por concesiones, reducir el endeudamiento con el fin de asegurar la sostenibilidad financiera del puerto y optimizar y rentabilizar las inversiones de los activos portuarios. En el caso de la dimensión medio ambiental, los objetivos pueden ser tales como accionar con respeto al medio ambiente, minimizar los impactos ambientales derivados de la actividad portuaria, minimizar los accidentes ambientales y mejorar la gestión ambiental en el recinto portuario.

Los objetivos sociales que pueden ser internos y externos, deben estar enmarcados en ámbitos tales como desarrollar y modernizar sistemas de gestión de los recursos humanos, desarrollar un equipo humano motivado y comprometido y lograr un respaldo sostenido y activo de la comunidad del entorno. Para los objetivos institucionales se puede estar buscando impulsar ciertos cambios legales y normativos para modernizar la forma de desarrollo y operación del puerto, reorganizar el mercado portuario incorporando competencia, gestión e inversión privada para mejorar su eficiencia y capacidad de expansión, modernizar el régimen laboral para mejorar su competitividad, desarrollar la comunidad portuaria para incrementar la eficiencia operacional y calidad de los procesos, institucionalizar y optimizar la relación ciudad puerto, expandir la gestión operativa del puerto a la cadena logística para agregar valor e integrar a la comunidad logística local al desarrollo del puerto.

Los indicadores deben permitir conocer las presiones, las medidas aplicadas y el grado de avance obtenido en las cuatro dimensiones de sostenibilidad.

Tabla 6*Descripción de las dimensiones*

Dimensión	¿Qué se evaluaría?	Peso propuesto
Ambiental	Emisiones, energía, agua, residuos e impactos ambientales	40%
Económica	Eficiencia, productividad y aprovechamiento de recursos	20%
Social	Seguridad, capacitación y relación con la comunidad	20%
	Gestión, políticas, indicadores y relación puerto-ciudad	20%
Institucional		
TOTAL		100%

Nota: Cuatro dimensiones está basada en el enfoque de sostenibilidad portuaria presentado por CEPAL.

Como resumen podemos decir que la sostenibilidad portuaria en la concepción más amplia, más allá de la sostenibilidad ambiental, es la capacidad de los puertos para mantener la continuidad en el largo plazo de sus actividades comerciales considerando para ello aspectos económicos, sociales, institucionales y ambientales, mediante proyectos y programas. La política de sostenibilidad para una autoridad o empresa portuaria debe buscar un ambiente de trabajo seguro en el cual se proteja la salud de los trabajadores y se promocióne su autodesarrollo, unas prácticas de responsabilidad social

y gobierno ético, la rendición de cuentas, una buena gestión

de los riesgos ambientales, el desarrollo económico y social del entorno, la igualdad y el respeto a la diversidad cultural y la participación de los grupos de interés en el desarrollo y accionar del puerto.

El desarrollo sostenible aún es un tema emergente en los puertos latinoamericanos y está siendo abordado más bien desde una perspectiva medio ambiental y en contados casos cubre la dimensión social. El aspecto menos tratado en la gestión estratégica de los puertos es la cuestión institucional, que por las características de que un puerto es una industria de múltiples servicios y agentes intervinientes, muestra menor dinamismo y dificulta la oportuna adaptación del puerto a las reales necesidades del mercado.

Hoja De Ruta Hacia La Neutralidad De Carbono

Indicadores de las dimensiones del modelo presentado, contesto y punto a evaluar
(Véase

Tabla 1)

D1: Gestión de emisiones y cambio climático:

- Emisiones de CO₂.
- Emisiones de gases contaminantes.
- Huella de carbono.
- Uso de combustibles de bajas emisiones.
- Plan de reducción de emisiones.
- Monitoreo de emisiones.

D2: Energía y eficiencia energética:

- Consumo energético por operación.
- Eficiencia energética de equipos.
- Uso de energías renovables.
- Iluminación eficiente.
- Sistemas de gestión energética.
- Medidas de ahorro energético.

D3: Gestión del agua

- Consumo de agua.
- Tratamiento de aguas residuales.
- Reutilización del agua.
- Calidad del agua.
- Prevención de contaminación.

- Sistemas de monitoreo.

D4: Gestión de residuos y materiales

- Generación de residuos.
- Separación de residuos.
- Reciclaje.
- Reutilización.
- Gestión de residuos peligrosos.
- Uso eficiente de materiales.

D5: Calidad ambiental y ecosistemas

- Calidad del aire.
- Contaminación acústica.
- Calidad del suelo.
- Protección de ecosistemas.
- Control de derrames.
- Monitoreo ambiental.

D6: Infraestructura y construcción sostenible

- Diseño sostenible.
- Infraestructura eficiente.
- Mantenimiento preventivo.
- Uso de materiales sostenibles.
- Infraestructura para energías limpias.
- Gestión ambiental de proyectos.

D7: Tecnología, innovación y digitalización

- Digitalización de procesos.
- Automatización.
- Sistemas de monitoreo ambiental.
- Tecnologías de reducción de emisiones.
- Equipos portuarios eléctricos o eficientes.
- Sistemas inteligentes de gestión.

D8: Eficiencia operativa y logística verde

- Productividad portuaria.
- Tiempo de operación.
- Utilización eficiente de equipos.
- Reducción de movimientos innecesarios.
- Optimización de rutas internas.
- Integración de criterios ambientales en las operaciones.

D9: Dimensión social y relación Puerto-ciudad

- Seguridad y salud ocupacional.
- Capacitación ambiental.
- Participación de trabajadores.
- Relación con comunidades.
- Comunicación ambiental.
- Responsabilidad social.
- Calidad de vida de las comunidades cercanas.

D10: Gobernanza, economía y gestión sostenible

- Existencia de política ambiental.

- Cumplimiento normativo.
- Inversión ambiental.
- Costos y ahorros.
- Presupuesto para sostenibilidad.
- Auditorías ambientales.
- Sistema de gestión.
- Participación de las autoridades y actores portuarios (RCA. 2025).

Tabla 7

Recomendaciones a aplicar para los puertos sostenibles en Latinoamérica.

Pilar	Propuesta	Ejemplo en Ecuador
Energía limpia	Paneles solares y equipos eléctricos	Paneles en techos de bodegas y oficinas
Transporte sostenible	Sustituir progresivamente equipos diésel por eléctricos	Montacargas y vehículos internos eléctricos
Gestión del agua	Recolección de agua lluvia y tratamiento/reutilización	Agua para limpieza de patios
Residuos y economía circular	Separación, reciclaje y reutilización	Contenedores diferenciados en terminales
Calidad ambiental	Control de emisiones, polvo y ruido	Monitoreo de partículas y ruido
Gestión y responsabilidad social	Capacitación, indicadores ambientales y participación comunitaria	Programa de capacitación ambiental para trabajadores

Nota: Tabla de creación propia del grupo.

Participación de la comunidad portuaria

La transición hacia puertos sostenibles en Latinoamérica requiere de la cooperación y el compromiso de todas las partes involucradas: autoridades portuarias, operadores, empresas de logística, comunidades locales y organizaciones ambientales, lo que permite el intercambio de mejores prácticas, la implementación de políticas y regulaciones adecuadas, y la promoción de estándares de sostenibilidad en toda la industria portuaria.

Los puertos sostenibles en Latinoamérica también se preocupan por la inclusión social y el desarrollo comunitario. Establecen programas de capacitación y empleo local, promoviendo la contratación de mano de obra local y la generación de oportunidades económicas en las comunidades circundantes. Además, colaboran con ellas para identificar y abordar los impactos sociales y culturales de sus operaciones, fomentando el diálogo y la participación ciudadana.

Un ejemplo de ello ocurre en Chile, siendo que recientemente en mayo de 2023, Puerto Valparaíso oficializó su incorporación a la red mundial de Port Centers, la cual es impulsada por la Asociación Internacional de Ciudades Puerto (AIVP), esto luego de que en enero de 2023, la Empresa Portuaria Valparaíso (EPV) anunciara el desarrollo del primer recinto de este tipo en Latinoamérica, en el Muelle Prat; lo cual pretende ser un espacio dirigido a la comunidad para que descubra, experimente y comprenda mejor la actividad portuaria y logística en su relación con la ciudad de Valparaíso. De esta forma, Valparaíso se transforma en el único puerto en Sudamérica y la décimo séptima ciudad puerto que ingresa a esta red mundial, integrada por ciudades como Amberes, Génova, Le Havre, Montreal, Dublín, Quebec, Marsella y otras.

Gobernanza Y Recomendaciones De Política Pública

La demanda de transporte marítimo en todo el mundo crece como consecuencia de una evolución del comercio incluso a veces con crecimiento superiores a la propia producción de bienes y servicios. Los puertos deben atender cada vez un mayor número de buques y de mayor tamaño, lo cual está presionando aún más al desarrollo portuario. Y el puerto tiene ciertos desafíos en este sentido, por ejemplo: el aumento en el tamaño de los medios de transporte y mejoras en la productividad. El transporte marítimo ha evolucionado hacia el uso de buques de mayor tamaño, haciendo necesaria mayores tasas de productividad en los muelles, requiriendo mayores profundidades en los canales de acceso y la construcción de nuevas terminales en nuevos emplazamientos. Otro aspecto crítico es la demanda de mayor espacio o suelo portuario.

Los puertos podrían desarrollarse sin problemas si el espacio litoral fuera abundante y poco valioso, pero la realidad es la opuesta: el espacio litoral que ocupan los puertos es un espacio escaso de múltiples usos alternativos.

La relación puerto-ciudad, el ordenamiento de la interfaz urbana del puerto puede ser un asunto crítico. Por lo general existe una disociación entre el planeamiento y el accionar del puerto y la ciudad. El crecimiento de los puertos se ha planificado, en muchas ocasiones, a expensas de la ciudad, en forma descoordinada, generando externalidades negativas y deterioro en la ciudad. Esta carencia de coordinación es la principal causa de muchos de los problemas que tienen lugar en las zonas de interfaz, entre puerto y ciudad. Para resolver estos asuntos es necesaria la concurrencia simultánea en la gestión de las administraciones portuarias y de la ciudad. La elaboración y aprobación de los planes territoriales requiere la coordinación de las diversas

administraciones. Se produce la concurrencia de las administraciones portuaria, municipal, regional, federal y nacional.

Las diferencias de criterios más frecuentes entre las autoridades suelen referirse a las áreas de contacto entre el puerto y la ciudad, la asignación de nuevos usos a zonas industriales degradadas en el interior del espacio portuario o la conexión de las vías urbanas y portuarias. El “hinterland” social del puerto resulta ser ahora otro factor clave en el desarrollo de los puertos. Como generador de economías, el puerto debe asegurarse que parte del valor económico que produce y logra capturar para sí retorne como beneficio al entorno en el que se encuentra (aquel que sufre los “impactos” negativos de la actividad portuaria). Por ello el puerto debe definir su hinterland social y formular políticas y programas que ayuden a generar beneficios en la comunidad, apoyando esfuerzos en educación, salud y bienestar en general.

Tabla 8

Gobernanza y Política Pública

Gobernanza	Recomendaciones
Coordinar a la	
comunidad portuaria	Fortalecer la gobernanza portuaria
Necesidad de política	
pública de desarrollo	
sostenible	Crear políticas públicas de transición ambiental
Coordinar	
administración	
portuaria y ciudad	Fortalecer la relación puerto-ciudad
Impulsar cambios	
legales y normativos	Actualizar la regulación ambiental portuaria

Desarrollar la

comunidad portuaria **Promover la participación de los actores portuarios**

Institucionalizar la

relación ciudad-puerto **Establecer mecanismos permanentes de coordinación**

Integrar la gestión

portuaria a la cadena

logística **Extender la sostenibilidad a toda la cadena logística**

Validación Del Modelo

La validación del modelo “**MET-PV- Modelo de Evaluación y Transición Hacia Puertos Verdes Para Ecuador y Latinoamérica**” permitirá determinar su pertinencia y aplicabilidad en el contexto portuario ecuatoriano, verificando que las dimensiones e indicadores propuestos contribuyan a disminuir los impactos ambientales sin afectar la eficiencia de las operaciones logísticas. La literatura científica señala que la evaluación de un puerto verde desde considerar diferentes dimensiones relacionadas con las emisiones, gestión energética, calidad del aire, contaminación acústica, gestión del agua, recursos, aspectos sociales y operaciones portuarias. En este sentido, investigaciones recientes han propuesto modelos de evaluación conformados por indicadores y subindicadores que posteriormente son verificados por expertos del sector portuario.

Se concluye que los indicadores más relevantes en la literatura son: reducción de emisiones y esfuerzos para garantizar la gestión energética; Calidad de aire; contaminación acústica; Gestión de proyectos de construcción.

Aplicabilidad Del Modelo A Ecuador Y Latinoamérica

El reto para el desarrollo portuario radica en minimizar las incertidumbres a largo plazo asociados a las operaciones portuarias, el riesgo de aumento de costes y los grandes impactos ambientales. El creciente interés político por combinar el crecimiento económico con la sostenibilidad es un tema prioritario en la agenda de muchos países, especialmente en Asia Oriental, Latinoamérica, África y Europa. Esto se aplica particularmente a los puertos, ya que poseen la capacidad de mantener su competitividad sin dejar de considerar el ecosistema integrado (Asgari et al., 2015; Laxe et al., 2016).

Artículo científico sobre evaluación de sostenibilidad portuaria

El estudio “A Sustainability Assessment Of Ports And Ports-City Plans: Comparing Ambitions With Achievements” Analiza diferentes planes portuarios y encuentra que los puertos con mejores resultados tiendan a combinar planes, medias y regulaciones integradas, considerando dimensiones sociales, económicas, y ambientales. Además de otros artículos científicos sobre transición hacia puertos verdes como el artículo “A investigation on a holistic framework of green port transition based on energy and environmental sustainability” propone un marco integral para la transición de los puertos hacia la sostenibilidad energética y ambiental.

El modelo de puerto verde MET - PV propuesto puede ser aplicado de manera progresiva en los puertos ecuatorianos y latinoamericanos, debido a que su estructura permite adaptar las estrategias ambientales de acuerdo con las características, recursos y necesidades de cada terminal portuario. La propuesta busca reducir los impactos ambientales de las operaciones portuarias sin afectar la eficiencia logística, por lo que puede implementarse inicialmente en puertos ecuatorianos como Guayaquil, Manta,

Posorja y Esmeraldas.

En Ecuador, la aplicación del modelo puede comenzar mediante acciones relacionadas

con el uso de energía limpia, transporte sostenible, gestión eficiente del agua, manejo de residuos, control de emisiones, polvo y ruido.

Conclusiones Del Capítulo

Se consolidó una estructura metodológica integral que articula los componentes centrales de la transición ambiental, la eficiencia energética, descarbonización, gestión integral de residuos, digitalización logística y gobernanza sostenible que serían aplicables a la realidad de los terminales portuarios ecuatorianos y latinoamericanos. Esta arquitectura metodológica supera las visiones fragmentadas tradicionales al incorporar herramientas dinámicas de autoevaluación, como matrices de madurez e índices de priorización de barreras. Como resultado, se proporciona a las autoridades y operadores portuarios un marco de diagnóstico estandarizado pero flexible, capaz de evaluar la situación de partida de cada terminal y sentar bases técnicamente sólidas para una transformación ecológica progresiva.

Los lineamientos estratégicos fundamentados correlacionan en el equilibrio tripartito entre la sostenibilidad ambiental, la eficiencia operativa y el cumplimiento normativo (marítimo e interinstitucional). Estos lineamientos permiten superar las principales barreras estructurales de la región —tales como la brecha de financiamiento verde, la rigidez infraestructural y la fragmentación regulatoria— mediante la propuesta de acciones escalables y adaptables a la diversidad operativa de los puertos latinoamericanos (desde puertos públicos de cabotaje hasta terminales *hub* especializados). La aplicación de estos criterios facilita una toma de decisiones coherente con las exigencias del comercio internacional y los estándares marco de la Organización Marítima Internacional.

El diseño del modelo de transición ambiental orientado a la implementación gradual de prácticas sostenibles, demuestra que la transición ambiental no constituye una traba operativa ni

un costo a fondo perdido, sino un catalizador directo de la competitividad y la resiliencia logística portuaria. Al integrar la optimización de procesos operativos con el desempeño ambiental, la propuesta ofrece una ruta clara para reducir la huella de carbono, optimizar el uso de recursos y fortalecer la posición estratégica del sistema portuario ecuatoriano y latinoamericano en las cadenas de suministro globales.

Bibliografía

Donoso, M. G., Quintana, R. E., JAIME, H. P., Miele, J. A., & Matute, J. C. (2025, Diciembre). Logística verde del banano ecuatoriano en su evolución digital, competitividad y desafíos. <https://doi.org/10.70577/asce.v4i4.575>

Durán, C. A., Palominos, F. E., Carrasco, R., & Carrillo, E. (2021). *Influence of Strategic Interrelationships and Decision-Making in Chilean Port Networks on Their Degree of Sustainability* (Vol. 7). Sustainability. <https://doi.org/10.3390/SU1307>

Fei, H., & Shi, H. (2025). "A systematic review of green port evaluation: methods, subjects, and indicators". *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse13030604>

Fei, H., & Shi, H. (2026, Marzo). A systematic review of green port evaluation: methods, subjects, and indicators . *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse13030604>.

Figueiredo, E. J., de Valois, N. A., & Marinho, M. (2016, Diciembre). Desafios e oportunidades dos indicadores de desempenho ambiental da agência nacional de transportes aquaviários para portos organizados marítimos: uma análise sob a percepção dos gestores ambientais portuários. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 4, pp. 155-168. <https://doi.org/10.9771/GESTA.V4I2.14425>

Lamberti, A. (2025, Enero 06). *La estrategia de la OMI para la reducción de emisiones de GEI de los buques*. SERTICA: <https://www.sertica.cl/blog-es/la-estrategia-de-la-omi-para-la-reduccion-de-emisiones-de-gei-de-los-buques/#gref>

Merino, T., Grave, I., & Bojórquez-Tapia, L. A. (2020). Ahp-Based Social Vulnerability Index for Small Fisheries in Yucatan, Mexico. *International Symposium of the*

Analytic Hierarchy

Process, 2, pp. 1-5. <https://doi.org/https://doi.org/10.13033/isahp.y2020.010>

Ogara, D. A. (Marzo de 2023). *An indicator-based approach to assess sustainability of port-cities and marine management in the Global South* (Vol. 10). Frontiers in Marine Science. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1052128>.

Pereira Soto, N. M. (2024). Puertos sostenibles en Latinoamérica: Navegando hacia un futuro responsable con base en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. In M. C. Romero, *La Agenda 2030 y el Derecho Marítimo Iberoamericano. Una colección de monografías y ensayos sobre la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y el Derecho Marítimo Iberoamericano*. (pp. 27-37). Malmö, Sweden: WMU PUBLICATIONS. <https://doi.org/10.21677/240615>

Silva Aguilar, G. I. (2024, Mayo - Junio). Las Comunidades Portuarias en América Latina. *REVISTA INCAING*, 55-62. <https://doi.org/ISSN24489131>

Wan, C., Zhang, D., Yan, X. P., & Yang, Z. (2017). A novel model for the quantitative evaluation of green port development – A case study of major ports in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.201>

ISBN: 978-9942-696-28-1

