



Georgia Tech Panama
Logistics Innovation & Research Center



Smart Ports: Tecnologías de Automatización, Digitalización y Gobernanza en las Terminales Portuarias Globales

Parte 3: Casos Internacionales de Éxito

Preparado: Melanie Batista y Alvaro Lasso

Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá

Septiembre, 2026

www.gatech.pa | logistics.gatech.pa

© Georgia Tech Panama Foundation, 2026
Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá, Calle
Marbella Office Plaza, Oficina 5B, Avenida Aquilino de la Guardia, Bella Vista,
Ciudad de Panamá. 2026

Primera edición digital: septiembre 2026
ISBN: Pendiente
Preparado por: Melanie Batista, Alvaro Lasso
Editado por: Jorge Barnett
Diseño gráfico: Carlos Santos

Todos los derechos reservados. Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento, su recopilación en un sistema informático, su transmisión en cualquier forma o medida, ya sea electrónica, mecánica, por fotocopia, registro o bien por otros medios, sin el previo permiso por escrito de la editorial.



Esta obra está bajo una licencia CC BY-NC-SA 4.0 de Creative Commons.
Para ver una copia de esta licencia, visita:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Recomendación para citación de este documento:

Batista, M., Lasso, A. (2026). *Smart Ports: Tecnologías de Automatización, Digitalización y Gobernanza en las Terminales Portuarias Globales. Parte 3: Casos Internacionales de Éxito*. Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá. Septiembre 2026.

Descargo de responsabilidad:

Este documento es producto de investigación profesional sobre una temática en constante evolución. Las opiniones expresadas son exclusivamente de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de Georgia Tech Panama Foundation ni de Georgia Institute of Technology. Aunque se ha procurado la exactitud del contenido al momento de su publicación, no se garantiza ni se asume responsabilidad por cambios posteriores, errores u omisiones, ni por daños derivados del uso de esta información.

Cualquier marca, empresa o producto mencionado se incluye con fines ilustrativos y analíticos; su mención no implica aval, patrocinio ni aprobación (explícita o implícita), y su omisión no implica juicio de valor alguno.

Aplican términos adicionales. Para más información visite logistics.gatech.pa/aviso-legal/

Contenido

1.	Casos Internacionales de Éxito	2
1.1	Rotterdam	2
1.2	Singapore PSA (Tuas Port)	3
1.3	Shanghai Yangshan	5
1.4	Análisis comparativo	7
2.	Impactos operativos, ambientales y económicos	7
2.1	Impactos operativos	8
2.2	Impactos ambientales	9
2.3	Impactos económicos	11
	Referencias	15

1.Casos Internacionales de Éxito

1.1 Rotterdam

Rotterdam destaca como referencia porque no solo ha automatizado terminales, sino que ha desarrollado una **estrategia de smart port** que integra la automatización física, la digitalización de las recaladas portuarias, la infraestructura de datos y la transición energética. En Maasvlakte 2 operan terminales altamente automatizadas y electrificadas, y la autoridad portuaria ha desarrollado herramientas digitales para optimizar los arribos, el uso de los atraques y la coordinación entre los diferentes agentes. El puerto presenta la digitalización como una forma de mejorar la eficiencia y la sostenibilidad al mismo tiempo, y no como un proyecto aislado de TI.^[1]

Uno de sus elementos más valiosos es el desarrollo del gemelo digital del puerto. La Autoridad Portuaria de Rotterdam explica que busca una representación digital que integre la infraestructura, los movimientos de los buques, el clima y la información hidrográfica, con el objetivo de mejorar la gestión operativa y preparar el puerto para la navegación cada vez más autónoma. Esto es relevante porque muestra una clara evolución: Rotterdam no se quedó en la automatización de grúas o patios, sino que avanzó hacia una capa superior de simulación y gestión predictiva.^[2]

En términos operativos, **Rotterdam ha implementado tecnologías en varias capas al mismo tiempo.** A nivel físico y operativo, Maasvlakte 2 cuenta con terminales automatizadas y electrificadas, mientras que, a nivel de coordinación digital, PortXchange crea una línea de tiempo compartida para la escala de los buques y combina datos públicos, información de las empresas participantes y pronósticos generados con inteligencia artificial para mejorar la precisión de la hora prevista de llegada (ETA, por sus siglas en inglés) y la secuencia de eventos portuarios. Todo ello convierte a este proyecto en un claro ejemplo de integración entre infraestructura, datos e inteligencia operativa.^[3]

Adicionalmente, el puerto cuenta con *Portbase*, su **Port Community System (PCS)**, que actúa como una plataforma de integración digital entre los distintos actores de la comunidad portuaria. A través de este sistema, *se facilita el intercambio seguro de información entre navieras, terminales, autoridades y operadores logísticos, permitiendo gestionar procesos como notificaciones de llegada, documentación y coordinación operativa*. Esto resulta clave en un entorno con múltiples participantes, ya que mejora la trazabilidad, reduce tiempos de espera y permite una operación más sincronizada basada en datos.^[4]

Los beneficios han sido dobles. Por un lado, Rotterdam mejora la productividad, la previsibilidad y el uso de los activos; por otro, vincula estas mejoras a la sostenibilidad, por ejemplo, con terminales electrificadas, una mejor coordinación de las escalas y el corredor verde y digital con Singapur.^[5]

Su principal reto ha sido la complejidad de la integración. Rotterdam no funciona como una sola terminal, sino como un ecosistema con múltiples terminales, navieras, operadores y plataformas. Por eso, su desafío no ha consistido únicamente en adquirir tecnología, sino también en conseguir la estandarización, el intercambio de datos y la adopción por parte de actores con intereses distintos. También ha tenido que gestionar el componente laboral y organizativo asociado a la automatización, algo habitual en los puertos líderes.^[3]

1.2 Singapore PSA (Tuas Port)

PSA Singapore, y en particular Tuas Port, es probablemente el **caso más completo de puerto inteligente concebido desde el principio como una plataforma automatizada, digital y escalable**. La Autoridad Marítima y Portuaria de Singapur (MPA, por sus siglas en inglés) y PSA presentan Tuas como el núcleo del futuro centro portuario de Singapur: un puerto consolidado en una sola ubicación, altamente automatizado y con una capacidad planificada de *65 millones* de TEU anuales cuando finalice su construcción en la década de 2040.

Además, en febrero de 2025, PSA informó que Tuas ya había manejado 10 millones de TEU desde el inicio de sus operaciones en septiembre de 2022, lo que demuestra que el modelo ya está generando resultados a gran escala y no solo en fase de prueba.^[6]

El puerto utiliza PortNet como su **Port Community System (PCS)** para intercambio de información, seguimiento de carga y coordinación logística, mientras que digitalPORT@SG es la **Ventanilla Única Marítima** que centraliza los procesos regulatorios.^[7]

La inteligencia de Tuas no se debe a una sola tecnología, sino a la combinación coherente de varias: **vehículos de guiado automático (AGV) eléctricos, grúas automatizadas, sistemas integrados de operaciones, red privada 5G**^[8] y, más recientemente, el lanzamiento del gemelo digital marítimo de Singapur por parte de la Autoridad Marítima y Portuaria de Singapur (MPA) en 2025. Esto muestra un camino de madurez tecnológica muy claro: primero, automatización física y conectividad; luego, inteligencia espacial, simulación y capacidades de coordinación a escala de ecosistema.^[9]

En una implementación real, PSA ha explicado que los **AGV** tienen un papel central en la automatización de patios y muelles y que la **red privada 5G** se desplegó para dar soporte a los AGV y a las grúas automatizadas tanto en Tuas como en Pasir Panjang. También ha documentado que estos AGV eléctricos son más sostenibles que los **prime movers** diésel y pueden reducir las emisiones de carbono en alrededor de un 50%.^[10]

Otro elemento distintivo es que Singapur no ha considerado Tuas como un proyecto de terminal aislado, sino como parte de una estrategia nacional de centro portuario. El Ministerio de Transporte hace hincapié en que la consolidación de terminales en Tuas **busca preservar la competitividad, garantizar la capacidad futura y reforzar el papel de Singapur como centro de transbordo.**

Esta articulación entre política pública, infraestructura y tecnología explica por qué PSA Singapur es una referencia mundial: el puerto inteligente está alineado con la estrategia del país, no solo con la eficiencia local.^[6]

Los retos a los que se enfrenta Tuas también son significativos. La magnitud del proyecto implica coordinar una migración gradual desde terminales existentes, aumentar progresivamente las flotas automatizadas, garantizar la interoperabilidad entre sistemas y mantener la continuidad operativa mientras el puerto crece por fases. A eso se suma el desafío del talento: un puerto más automatizado necesita menos trabajo manual repetitivo, pero **más perfiles dedicados a la supervisión, el análisis, el mantenimiento avanzado y la ciberseguridad.**^[11]

1.3 Shanghai Yangshan

Shanghai Yangshan es uno de los ejemplos más representativos de **automatización intensiva a gran escala en Asia**. La **fase IV de Yangshan** entró en funcionamiento en 2017 y ha sido un componente clave en el posicionamiento de Shanghai como el mayor puerto de contenedores del mundo. De acuerdo con el Shanghai Municipal People's Government (2024), el puerto superó los *40 millones de TEU* tras la puesta en operación de esta fase, y en 2024 alcanzó más de *50 millones de TEU* anuales.^[12]

Lo que convierte a Yangshan en un referente es la integración de múltiples tecnologías en una misma operación: **terminal automatizada, sistema TOS de desarrollo propio, plataforma de intercambio de información, vehículos autónomos (AGVs), grúas automatizadas, conectividad 5G y control remoto**. De acuerdo con Shanghai International Port Group (SIPG), la fase IV opera de manera continua (24/7) mediante la coordinación en tiempo real de equipos automatizados, soportada por redes de alta velocidad y sistemas digitales integrados.

Asimismo, el puerto ha incorporado progresivamente aplicaciones inteligentes, como inspección automatizada y pruebas con vehículos autónomos, lo que evidencia una evolución constante de sus capacidades tecnológicas.^[13]

En términos de rendimiento, la información institucional permite dimensionar el impacto de esta automatización. Según el Shanghai Municipal People's Government, la fase IV ha logrado una reducción cercana al 70 % en la necesidad de mano de obra, un incremento aproximado del 30 % en la eficiencia operativa y una productividad laboral significativamente superior a la de terminales tradicionales. Además, el puerto ha incorporado **plataformas de simulación a nivel operativo** que permiten validar procesos y algoritmos antes de su implementación en condiciones reales.^[14]

Este último punto es particularmente importante: Yangshan no solo automatizó equipos, sino que avanzó hacia **una lógica de experimentación digital previa a la ejecución real** cercano a un gemelo digital operativo o una simulación avanzada. Además, las mejoras recientes en almacenamiento inteligente, inspección automatizada y coordinación de equipos demuestran que la inteligencia portuaria no se limita a la fase inicial del proyecto, sino que sigue **evolucionando sobre una base operativa ya consolidada**.^[15]

Su principal reto ha sido integrar una automatización muy intensiva con la expansión continua del puerto. Shanghai no solo debe mantener el rendimiento del terminal automatizado existente, sino también ampliar su capacidad, modernizar los terminales tradicionales y desarrollar nuevas aplicaciones inteligentes sin afectar al rendimiento. En este contexto, el desafío no radica únicamente en implementar tecnología, sino en sostener y expandir un sistema altamente complejo en el puerto con mayor volumen de contenedores del mundo.^[16]

1.4 Análisis comparativo

Rotterdam se consolida como el referente líder en integración ecosistémica, implementación de digital twins y coordinación avanzada de port calls. Por su parte, PSA Singapore representa la frontera de excelencia en el diseño estratégico de terminales automatizadas y escalables desde su concepción (greenfield). Finalmente, Shanghai Yangshan destaca como el exponente más robusto en automatización intensiva y productividad de alto volumen. En conjunto, estos tres modelos permiten cubrir las regiones de Europa, el Sudeste Asiático y China mediante arquitecturas de smart port diferenciadas, pero igualmente sólidas y competitivas.

Es fundamental subrayar que estos casos de estudio convergen en una lección estratégica común: la inteligencia portuaria no reside en la adopción de tecnologías aisladas. El valor operativo real emerge de la interoperabilidad entre la automatización física, las plataformas operativas, el flujo de datos, la conectividad, la analítica predictiva y la gobernanza. La distinción radica en el énfasis de cada modelo: *Rotterdam prioriza la integración y la orquestación del ecosistema; Singapur apuesta por la escalabilidad estratégica y la automatización de nueva generación; y Shanghái se orienta hacia la eficiencia masiva mediante el control inteligente y la escala operativa.*

2. Impactos operativos, ambientales y económicos

La implementación de tecnologías de automatización, digitalización y analítica avanzada en los smart ports genera impactos significativos en tres dimensiones clave: eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y competitividad económica. Estos impactos no son independientes, sino que se encuentran interconectados. De hecho, la mejora en la eficiencia operativa suele traducirse en reducción de costos y emisiones, así como en un mayor desempeño logístico a nivel global.

2.1 Impactos operativos

■ Mejora en eficiencia y productividad

Uno de los principales impactos de los smart ports es el incremento en la eficiencia operativa mediante la optimización de procesos, automatización de equipos y toma de decisiones basada en datos. La integración de tecnologías como *IoT*, *inteligencia artificial* y *sistemas automatizados* permite *reducir tiempos de operación, mejorar la coordinación entre recursos y aumentar la productividad general del puerto*.

Estas innovaciones pueden **contribuir a reducir los costos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero hasta en un 20 %** reflejando el impacto directo de la transformación digital en la eficiencia del sector.

Estudios recientes indican que la digitalización portuaria permite optimizar el uso de recursos, reducir tiempos de espera de buques y acelerar la manipulación de carga, mejorando significativamente el flujo logístico.^[17]

■ Reducción de tiempos operativos y congestión

El uso de herramientas de **analítica avanzada, simulación y sistemas de coordinación en tiempo real** permite reducir la congestión en muelles, patios y accesos terrestres. Como ejemplo, la implementación de tecnologías como los **digital twins y los sistemas de planificación inteligente** ha demostrado **una reducción en los tiempos de atención de los buques de hasta un 25 %**, al mejorar significativamente la programación y la coordinación de las operaciones.^[18]

Como resultado de lo anteriormente expuesto, se han obtenido mejoras en los indicadores clave, que se presentan a continuación:

- Tiempo de permanencia de los buques (turnaround time).
- Tiempo de ciclo de los contenedores.
- Utilización de activos
- Optimización del uso de activos

Las tecnologías inteligentes *permiten optimizar el uso de la infraestructura y los equipos a través de métodos como el mantenimiento predictivo, la asignación dinámica de recursos y la coordinación automatizada.* La analítica basada en datos facilita la detección de ineficiencias y la reducción de tiempos muertos, incrementando la productividad sin necesidad de ampliar la infraestructura física.

En este escenario, la digitalización permite transicionar de una operación reactiva a una operación predictiva, lo que a su vez mejora la capacidad de resistencia frente a interrupciones y variabilidad en la demanda.^[19]

2.2 Impactos ambientales

■ Reducción de emisiones y consumo energético

Los smart ports contribuyen significativamente *a la reducción del impacto ambiental, mediante la optimización de las operaciones y el uso eficiente de la energía.* La implementación de tecnologías avanzadas, tales como la automatización, la electrificación de equipos y los sistemas de gestión energética, resulta esencial para lograr la reducción del consumo de combustible y las emisiones de carbono.

La implementación de procesos digitales y el empleo de sensores en la industria permite una optimización en la gestión de movimientos de equipos, lo que conlleva a una reducción de operaciones innecesarias. Esta reducción puede resultar en una disminución del consumo energético y de las emisiones asociadas.^[20]

Según los estudios realizados acerca de los sistemas de gestión energética en smart ports, se han obtenido reducciones de:

- El consumo energético se ha reducido en un 7-8 %.
- El rango de emisiones de carbono se sitúa entre el 11 % y el 12 %.
- Se estima un ahorro de hasta un 30 % en los costos operativos energéticos.^[21]

■ **Optimización de operaciones y reducción de externalidades**

El uso de analítica en tiempo real y simulación permite reducir la congestión, los tiempos de espera y las operaciones ineficientes, lo que a su vez disminuye las emisiones indirectas asociadas al tráfico marítimo y terrestre.

Asimismo, tecnologías como el **monitoreo ambiental, los sensores IoT y las plataformas de análisis** permiten medir y gestionar de forma continua los impactos ambientales, facilitando el cumplimiento de las regulaciones y los objetivos de sostenibilidad.

■ **Transición hacia puertos sostenibles**

Los smart ports no solo reducen el impacto ambiental, sino que permiten avanzar hacia modelos de operación más sostenibles mediante los siguientes procedimientos:

- Electrificación de equipos portuarios.
- Integración de energías renovables.
- Monitorización inteligente del consumo energético.

Esto posiciona a los puertos como actores clave en la transición hacia cadenas logísticas más sostenibles a nivel global.^[22]

■ Transición hacia puertos sostenibles

Los smart ports no solo reducen el impacto ambiental, sino que permiten avanzar hacia modelos de operación más sostenibles mediante los siguientes procedimientos:

- Electrificación de equipos portuarios.
- Integración de energías renovables.
- Monitorización inteligente del consumo energético.

Esto posiciona a los puertos como actores clave en la transición hacia cadenas logísticas más sostenibles a nivel global. ^[22]

2.3 Impactos económicos

Los smart ports se han consolidado como un elemento clave para mejorar la eficiencia del comercio global, considerando que el transporte marítimo moviliza *más del 80 % del volumen del comercio mundial*. La digitalización y automatización portuaria están transformando la manera en que se gestionan las operaciones logísticas a nivel internacional.

La automatización y digitalización portuaria pueden generar mejoras significativas en el desempeño operativo. De acuerdo con McKinsey & Company, la automatización de terminales puede **reducir los gastos operativos en un rango de entre 25 % y 55 %, al tiempo que incrementa la productividad operativa entre un 10 % y un 35 %**, particularmente en terminales con un alto nivel de madurez tecnológica. ^[23]

A nivel global, el mercado de smart ports refleja esta tendencia de transformación, con proyecciones de crecimiento acelerado. De acuerdo con *Fortune Business Insights* (2024), se estima que *este mercado crecerá a una tasa anual compuesta (CAGR) cercana al 24.7 % en los próximos años*, impulsado por la adopción de tecnologías como automatización, analítica avanzada e integración digital. ^[24]

■ Reducción de costos operativos

La implementación de procesos automatizados, la optimización de los mismos y el uso de herramientas de analítica avanzada permiten reducir los costos operativos asociados a mano de obra, consumo energético, mantenimiento y tiempos de operación.

McKinsey & Company indica que el uso de herramientas digitales avanzadas en proyectos de infraestructura puede **reducir hasta un 30 % los sobrecostos asociados a fallas de planificación**. En puertos con alto crecimiento de carga, esta capacidad predictiva disminuye riesgos financieros.^[25]

La implementación de la digitalización en el ámbito portuario tiene la capacidad de *reducir significativamente las ineficiencias, los errores operativos y los tiempos de inactividad*, lo que resulta en ahorros sustanciales y en una mejora en la rentabilidad de las operaciones portuarias.^[26]

■ Incremento en competitividad y capacidad de atracción

La implementación de los smart ports ha demostrado favorecer una *mejora en el posicionamiento de los mismos en el mercado global, al ofrecer un incremento en la eficiencia, la confiabilidad y la visibilidad en la cadena logística*. Este incremento en la capacidad de atracción de tráfico marítimo, inversiones y nuevas rutas comerciales es un aspecto positivo que debe ser tenido en cuenta.

La implementación de tecnologías en smart ports también influye en la competitividad al aumentar la capacidad de atracción de inversión en infraestructura portuaria.

Según Mordor Intelligence, la automatización de terminales representa el 43.65 % del mercado de smart ports, impulsada por tecnologías como

vehículos autónomos, grúas automatizadas y optimización de patios mediante inteligencia artificial, lo que evidencia el interés de inversionistas en puertos con mayores niveles de eficiencia y modernización tecnológica.^[27] Se ha comprobado que existe una correlación directa entre el nivel de digitalización de un puerto y su desempeño competitivo. Esto incluye una mayor participación de mercado y un mejor posicionamiento logístico.^[28]

■ Impacto en el comercio y la economía

La implementación de smart ports genera *impactos directos y medibles en la operación portuaria, el comercio internacional y la economía en general*. Estos impactos se reflejan en mejoras en la eficiencia operativa, reducción de costos, aumento de la productividad y mayor confiabilidad en las cadenas logísticas. A nivel económico, *permiten optimizar el uso de infraestructuras existentes, atraer mayor volumen de carga y fortalecer la competitividad de los puertos dentro de redes globales de transporte*. Asimismo, la digitalización y automatización contribuyen a la toma de decisiones basada en datos, lo que facilita una gestión más eficiente de los recursos y una mayor capacidad de adaptación ante cambios en la demanda y en el entorno logístico.

La eficiencia portuaria tiene un impacto directo en la dinámica del comercio internacional, particularmente en los tiempos logísticos y la fluidez de las cadenas de suministro. De acuerdo con la UNCTAD, en contextos de disrupción global, el tiempo de permanencia de los buques en puerto puede incrementarse hasta en un 20 %, lo que genera retrasos significativos en el comercio y mayores costos logísticos. En contraste, puertos con altos niveles de eficiencia operativa logran tiempos de estadía inferiores a 24 horas, mientras que en puertos menos eficientes estos pueden superar los tres días, evidenciando cómo la modernización y digitalización portuaria inciden directamente en la competitividad del comercio global.^[29]

Además, los smart ports permiten:

- ☐ Desarrollar nuevos servicios digitales.
- ☐ Mejorar la transparencia en la cadena de suministro.
- ☐ Reducir riesgos logísticos.

■ **Generación de valor a largo plazo**

Más allá de los beneficios inmediatos, los smart ports generan valor estratégico mediante:

- ☐ Mayor resiliencia ante interrupciones.
- ☐ Mejor planificación a largo plazo.
- ☐ Capacidad de adaptación a cambios en la demanda.

La digitalización portuaria emerge como un componente esencial para la sostenibilidad económica del sector logístico y del comercio internacional.

Referencias

- [1] Port of Rotterdam. Making Maasvlakte 2 more sustainable: Leading the transition to a carbon-neutral port.
<https://www.portofrotterdam.com/en/building-port/sustainable-port/making-maasvlakte-2-more-sustainable>
- [2] Port of Rotterdam. (2025). Case study 4: Real-time data integration for terminal efficiency. Digital Report 2025.
<https://publications.portofrotterdam.com/digital-report-2025/case-study-4>
- [3] Port of Rotterdam Authority. (2019, 8 de agosto). Port of Rotterdam Authority launches new company PortXchange to make digital tool available to other ports.
<https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/port-rotterdam-authority-launches-new-company-portxchange-make-digital>
- [4] Portbase. Services <https://www.portbase.com/en/services/>
- [5] Port of Rotterdam. (2025). Green and digital corridor: Integrating sustainability and technology for the future of shipping. Digital Report.
<https://publications.portofrotterdam.com/digital-report/green-digital-corridor>
- [6] Ministry of Transport. Shaping the future of Maritime Singapore: Building a leading global maritime hub. Government of Singapore.
<https://www.mot.gov.sg/what-we-do/maritime/shaping-the-future-of-maritime-singapore/>
- [7] PSA PORTNET. About Us. <https://www.portnet.com/public/?utm>
- [8] Maritime and Port Authority of Singapore. Port of the future: Innovation and digitalization in Maritime Singapore. <https://www.mpa.gov.sg/maritime-singapore/port-of-the-future>

[9] Maritime and Port Authority of Singapore. (2024, 16 de abril). Singapore advances maritime innovation with geospatial partnerships and launches Maritime Digital Twin. <https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/singapore-advances-maritime-innovation-with-geospatial-partnerships-and-launches-maritime-digital-twin>

[10] PSA Singapore. (2022, 2 de marzo). PSA and ASTAR collaborate on smart scalable solutions for managing Automated Guided Vehicle (AGV) fleets in preparation for Tuas Port*. <https://www.singaporepsa.com/2022/03/02/psa-and-astar-collaborate-on-smart-scalable-solutions-for-managing-automated-guided-vehicle-agv-fleets-in-preparation-for-tuas-port/>

[11] PSA Singapore. Port: World-class container terminals and connectivity. <https://www.singaporepsa.com/our-business/port/>

[12] Shanghai Municipal People's Government. (2024, 23 de diciembre). Shanghai Port sets new record for container throughput. <https://english.shanghai.gov.cn/en-Latest-WhatsNew/20241223/d2daebd5188341e3b87e433d98b49b55.html>

[13] SIPG. Yangshan Phase IV: The world's largest automated container terminal and its technological milestones. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd. <https://en.portshanghai.com.cn/LatestNews/2038.jhtml>

[14] State Council of the People's Republic of China. (2024, 22 de diciembre). China's commercial freight volume up 7.3 percent in first 11 months of 2024. https://english.www.gov.cn/archive/statistics/202412/22/content_WS676781dc66d0868f4e8ee31d.html

[15] Shanghai Municipal People's Government. (2025, 10 de diciembre). Shanghai's progress in building a world-class international shipping center. <https://english.shanghai.gov.cn/en-Seaport-ShippingCenter/20251210/f224490257cf43388b475a4bd14ec56d.html>

[16] SIPG. Driving the future: Shanghai Port's continuous innovation in smart port operations and digital transformation. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd. <https://en.portshanghai.com.cn/LatestNews/4018.jhtml>

- [17] LogistixNews (7 de agosto de 2023). La tecnología puede reducir hasta 20 % los costos del transporte marítimo. <https://logistixnews.com/2023/08/07/la-tecnologia-puede-reducir-hasta-20-los-costos-del-transporte-maritimo/>
- [18] The Times of India. (2026, 3 de marzo). VOC Port becomes first to implement digital twin platform. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/madurai/voc-port-becomes-first-to-implement-digital-twin-platform/articleshow/129563559.cms>
- [19] DataHub Analytics. Smart ports: Optimizing operations with AI and automation. <https://datahubanalytics.com/smart-ports-optimizing-operations-with-ai-and-automation/>
- [20] Net Zero Events. Port digitalization for efficiency and emission reduction: Navigating the path to sustainable maritime operations. <https://netzero-events.com/port-digitalization-for-efficiency-and-emission-reduction/>
- [21] Chen, L., Zhang, H., & Liu, X. (2025). Deep reinforcement learning for real-time container terminal scheduling: Towards autonomous port operations. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2511.20043>
- [22] Silva, J., & Santos, R. (2024). Desarrollo de puertos inteligentes y sostenibles: Un análisis de la gestión ambiental y eficiencia operativa en terminales de contenedores. <https://revista.ecogestaobrasil.net/v11n27/v11n27a35.pdf>
- [23] Chu, M., Hausmann, R., & Reeves, K. (2018). The future of automated ports. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/logistics/our-insights/the-future-of-automated-ports>
- [24] Fortune Business Insights. (2024). Smart Port Market Size, Share | Industry Report. <https://www.mckinsey.com/industries/logistics/our-insights/the-future-of-automated-ports>
- [25] Vorecol. (28 de agosto de 2024). Herramientas digitales para aumentar la productividad personal. <https://blogs-es.vorecol.com/articulo-herramientas-digitales-para-aumentar-la-productividad-personal-2174>

[26] Sharma, A., & Gupta, R. (2025). The impact of digitalization on smart ports: Enhancing efficiency, sustainability, and competitiveness in the maritime industry. ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/388108066_THE_IMPACT_OF_DIGITALIZATION_ON_SMART_PORTS_ENHANCING_EFFICIENCY_SUSTAINABILITY_AND_COMPETITIVENESS_IN_THE_MARITIME_INDUSTRY

[27] Mordor Intelligence. (2026). Análisis del tamaño y la participación del mercado de puertos inteligentes: tendencias de crecimiento y pronóstico (2026-2031).

<https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/smart-port-market>

[28] Kim, J., Lee, S., & Park, H. (2025). Digital transformation in container terminals: A comprehensive analysis of smart port implementation and operational efficiency. Journal of Shipping and Ocean Engineering, 15(2), Article 100446.

<https://doi.org/10.1016/j.jsoe.2025.100446>

[29] UNCTAD. (21 de mayo de 2024). Why ports are at the heart of sustainable development.

<https://unctad.org/news/why-ports-are-heart-sustainable-development>

En la última parte de esta serie de documentos, se abordará la **ruta para Panamá en la implementación de puertos inteligentes**, para más información sobre las publicaciones de Georgia Tech Panamá puedes

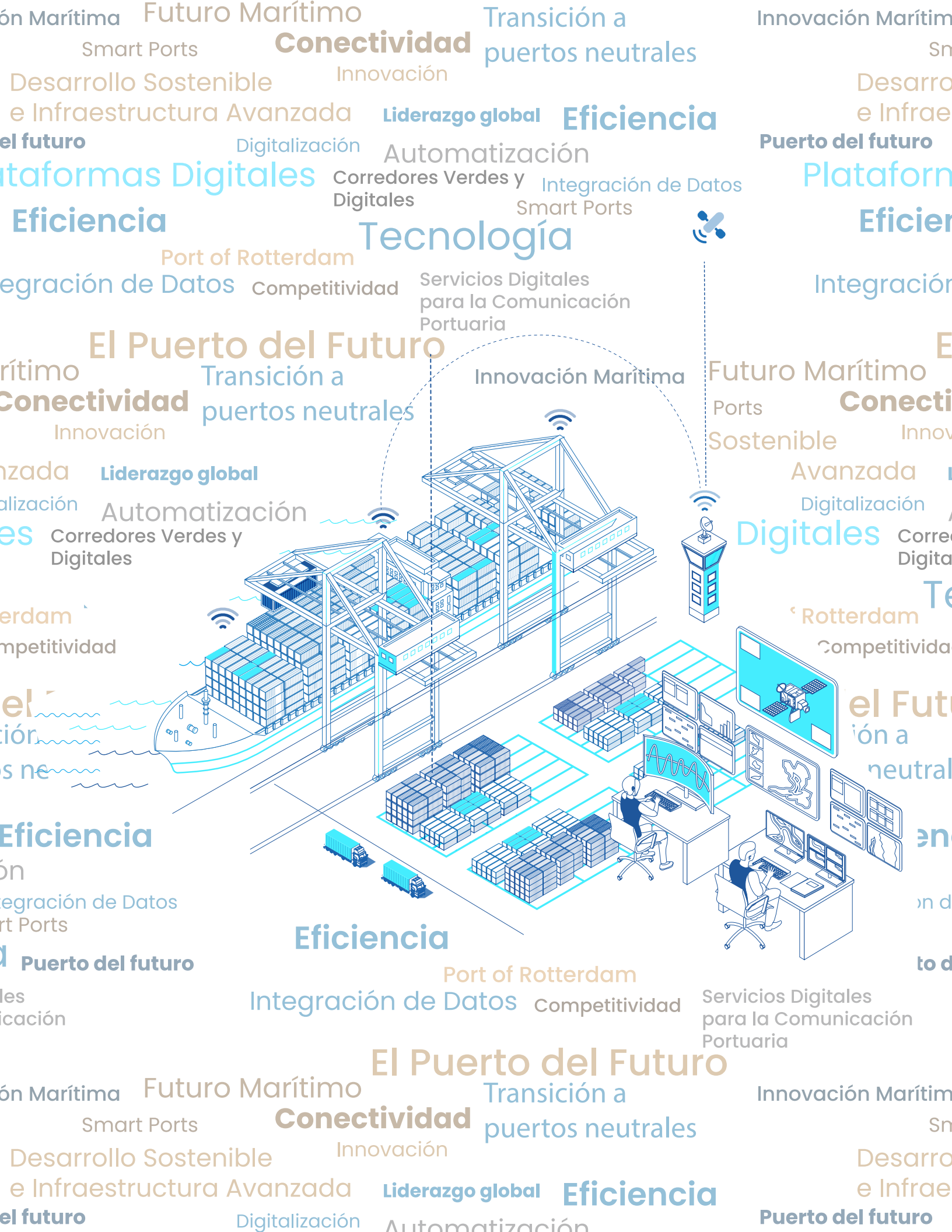
visitar: <https://www.gatech.pa/working-papers>.

Descubre más...



gatech.pa







Georgia Tech Panama
Logistics Innovation & Research Center

Un centro de innovación



CONTÁCTANOS

(+507) 395-3030

georgiatechpanama@gatech.pa



gatechpanama