



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

Parte 1: El Puerto Inteligente

Preparado: Melanie Batista y Alvaro Lasso

Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá

Julio, 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: julio 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 1: El Puerto Inteligente*. Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá. Julio 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/

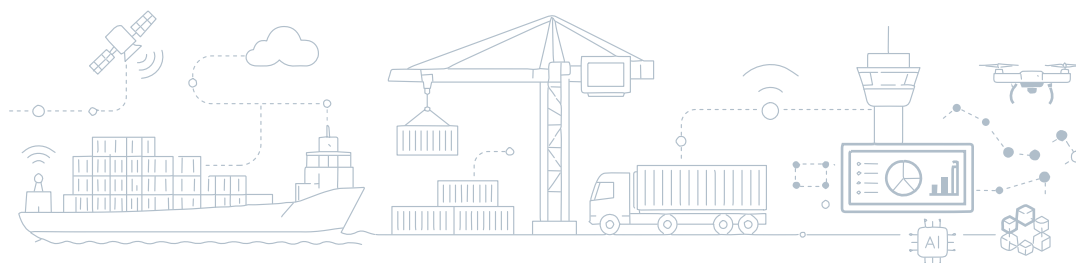
Introducción

La serie de documentos relacionada a los puertos inteligentes analiza la evolución de los puertos desde esquemas predigitales basados en procesos manuales hasta su transformación en ecosistemas logísticos inteligentes e interconectados, conocidos como *smart ports*, lo cual se describe en el presente documento y representa la primera parte de la serie.

Estos puertos inteligentes operan mediante **arquitecturas multicapa** que integran infraestructura física, conectividad, plataformas operativas, plataformas de datos e integración digital, analítica avanzada y aplicaciones de negocio con simulación, permitiendo la sincronización eficiente de toda la cadena logística. Este tema lo abordaremos en la segunda parte de la serie.

De igual forma, se describen casos de referencia internacional como **Rotterdam, Singapore (Tuas Port) y Shanghai Yangshan**, considerados líderes mundiales en la implementación de modelos portuarios inteligentes al combinar automatización física, plataformas digitales y capacidades avanzadas de análisis de datos. Esto se incluye en la tercera parte de la serie, junto con los principales impactos operativos, ambientales y económicos derivados de la implementación de estos modelos, destacando mejoras en eficiencia operativa, reducción de emisiones y disminución de costos logísticos.

Finalmente, en la cuarta parte de la serie de documentos, se analizan los **desafíos regulatorios, tecnológicos, y organizacionales** que enfrenta Panamá, junto con **recomendaciones estratégicas** orientadas a consolidar su hub portuario como un ecosistema de *smart ports* de clase mundial

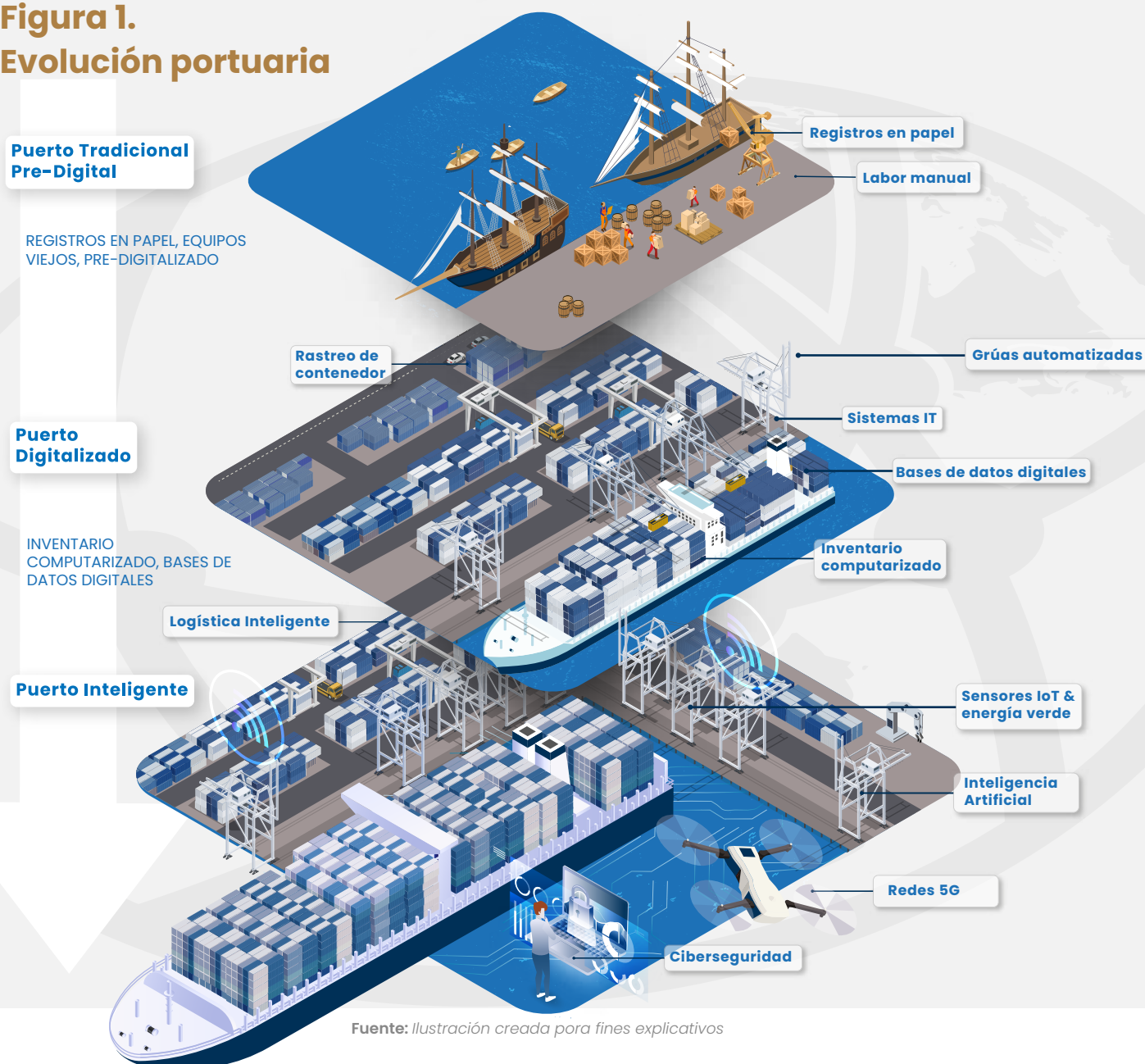


Evolución del concepto de Smart Ports

La evolución de los puertos puede entenderse como un proceso gradual de transformación tecnológica y organizacional que implica cambios estructurales a nivel tecnológico, operativo y conceptual, para convertirse en un nodo inteligente dentro de cadenas logísticas globales digitalizadas.

A continuación, se describe la evolución según la madurez digital de los puertos:

Figura 1.
Evolución portuaria



A continuación, se describe la evolución según la madurez digital de los puertos:



a) Puertos tradicionales (pre-digitalización)

Durante siglos, las operaciones portuarias dependieron principalmente del trabajo manual. La carga y descarga de mercancías se realizaba **mediante mano de obra intensiva y procesos poco estandarizados**. La información sobre los movimientos comerciales se gestionaba mediante registros físicos, generando limitaciones significativas en términos de eficiencia y trazabilidad. ^[1]

Los puertos tradicionales tenían una operación basada en procesos manuales, documentos físicos y baja automatización. Es la etapa previa a la digitalización. Consisten principalmente de sistemas fragmentados, con poca visibilidad de la cadena logística. Su enfoque es operativo principalmente carga, descarga y almacenamiento.



b) Puertos industriales

A partir de 1960, se impulsó una expansión considerable de las actividades portuarias. El desarrollo de la logística intermodal y la mecanización de ciertas operaciones permitió aumentar la capacidad de manejo de carga y fortalecer la integración entre puertos y centros industriales.

Sin embargo, los puertos continuaban siendo infraestructuras relativamente aisladas, con escasa coordinación entre los diferentes actores de la cadena logística.

La **contenerización** revolucionó el comercio mundial al permitir el transporte intermodal de mercancías utilizando unidades estandarizadas capaces de ser transferidas entre barcos, camiones y ferrocarriles sin necesidad de manipular individualmente la carga.

Este cambio provocó la reducción significativa de los tiempos de carga y descarga, disminución de daños y pérdidas de mercancías, mayor seguridad operativa, reducción de costos logísticos e incremento del comercio internacional.

La adopción masiva del contenedor obligó a los puertos a realizar importantes inversiones en infraestructura especializada, incluyendo terminales dedicadas, grúas pórtico de gran capacidad y sistemas de almacenamiento más eficientes.

Como consecuencia, los puertos comenzaron a evolucionar desde simples puntos de transferencia de mercancías hacia centros logísticos integrados.



c) Puertos digitalizados

A partir de la década de 1980, el crecimiento acelerado del comercio internacional, la consolidación de la contenerización y la expansión de las cadenas globales de suministro impulsaron una nueva etapa en la evolución de los puertos, conocida como Puertos de Tercera Generación o Port 3.0. Este modelo representó una transición desde una visión centrada exclusivamente en la transferencia física de mercancías hacia un enfoque logístico integral, donde el puerto comenzó a desempeñar un papel activo en la coordinación de múltiples actores de la cadena de suministro.

Los puertos de tercera generación surgieron como respuesta a la creciente necesidad de **eficiencia, conectividad y competitividad** en un entorno económico cada vez más globalizado. Durante este período, las terminales portuarias dejaron de operar como infraestructuras aisladas y comenzaron a integrarse funcionalmente con operadores logísticos, transportistas terrestres, centros de distribución, zonas francas, aduanas y empresas manufactureras.

Según UNCTAD (1999), los puertos de tercera generación se caracterizan por tres elementos fundamentales: **integración logística, orientación comercial y utilización intensiva de tecnologías de información y comunicación (TICs)**. Estas características permitieron ampliar el alcance de las actividades portuarias más allá de los límites físicos del puerto, generando nuevos servicios de valor agregado relacionados con almacenamiento, consolidación de carga, distribución y gestión documental.

Los puertos digitalizados son aquellos que introducen los Terminal Operating Systems (TOS) y digitalización documental. Mejoran el intercambio de información entre actores (navieras, aduanas, terminales) y representan el inicio de la automatización masiva en terminales.



d) Smart Ports³

Los puertos inteligentes (*smart ports*) constituyen la evolución más reciente de madurez digital en los puertos. La industria 4.0 contribuyó significativamente al desarrollo de estos puertos, los cuales integran tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial, big data, blockchain, 5G, entre otras. Su operación se basa en **datos en tiempo real, automatización y decisiones predictivas**. Constituyen un ecosistema digital interconectado y autónomo.

Los puertos han evolucionado de tener “Terminal Operating Systems” tradicionales con sistemas aislados enfocados en gestión de patio, planificación de buques y control de contenedores con baja interoperabilidad entre sistemas **hacia ecosistemas de operaciones interconectadas**.

Los smart ports operan sobre arquitecturas multicapa que forman plataformas sincronizadas que conectan toda la cadena logística.

Dentro de los factores que impulsan la transformación hacia los smart ports están los siguientes:

■ **Crecimiento del comercio global**

- ☐ Aumento del tamaño de buques y volumen de carga.
- ☐ Necesidad de mayor eficiencia operativa.

■ **Competencia entre puertos**

- ☐ Puertos compiten por ser hubs logísticos globales.
- ☐ La eficiencia digital se convierte en ventaja competitiva.

■ **Industria 4.0**

- ☐ Adopción de tecnologías disruptivas: automatización, Inteligencia artificial, IoT.

■ **Exigencias ambientales y regulatorias**

- ☐ Reducción de emisiones.
- ☐ Optimización energética.
- ☐ Puertos “verdes”.

■ **Demanda de visibilidad y tiempo real**

- ☐ Trazabilidad, cumplimiento y predictibilidad.

■ **Resiliencia y gestión de riesgos**

- ☐ Reacción a crisis logísticas: congestión portuaria global, variables geopolíticas
- ☐ Necesidad de decisiones predictivas y adaptativas

Los smart ports apuntan a un sistema portuario conectado, automatizado, sostenible y basado en datos, que integra tecnologías digitales avanzadas y coordina múltiples actores para optimizar operaciones, mejorar la toma de decisiones en tiempo real y genera valor en toda la cadena logística.

Referencias

- [1] Theo Notteboom (2026). Port Economics, Management and Policy. The origins of the break bulk market.
<https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part5/break-bulk/>
- [2] Belmoukari, A., Audy J., Forget P. (2023). Smart port: a systematic literature review. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12544-023-00581-6>
- [3] Behdani, B. (2023). Port 4.0: a conceptual model for smart port digitalization.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523004507>
- [4] Pereira R., Lopes R. Teixeira L. (2026). Digital twins architectures for smart port operations: Lessons from European benchmarking.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123026015197>

En la siguiente parte de esta serie de documentos, se abordará **la arquitectura tecnológica del puerto inteligente**, para más información sobre las publicaciones de Georgia Tech Panamá puede visitar <https://www.gatech.pa/working-papers>.



gatech.pa









Georgia Tech **Panama**

Logistics Innovation & Research Center

Un centro de innovación



CONTÁCTANOS

(+507) 395-3030

georgiatechpanama@gatech.pa



gatechpanama