

# La importancia de la interoperabilidad en los puertos inteligentes

Pablo Giménez Salazar

Transformación digital

Plataformas digitales, Interoperabilidad, Smart port

La digitalización está transformando profundamente el funcionamiento de los puertos, que han pasado de ser infraestructuras físicas aisladas a convertirse en ecosistemas logísticos complejos, caracterizados por la interacción de múltiples actores y modos de transporte. En este contexto, la interoperabilidad se consolida como un elemento esencial para avanzar hacia puertos verdaderamente inteligentes, capaces de gestionar de forma coordinada los flujos marítimos, ferroviarios y terrestres.

La interoperabilidad permite conectar sistemas, alinear procesos y compartir información de manera estructurada y segura, mejorando la planificación, la toma de decisiones y la coordinación entre los distintos actores del ecosistema portuario.

Además de su impacto en la eficiencia operativa, la interoperabilidad contribuye a la sostenibilidad mediante la optimización de flujos y la reducción de movimientos innecesarios, reforzando la resiliencia del sistema al facilitar una respuesta más ágil ante disrupciones. Sin embargo, su implantación conlleva desafíos relevantes, tanto tecnológicos como organizativos y culturales.

En este marco, iniciativas colaborativas como el proyecto TRAMA demuestran cómo la interoperabilidad puede abordarse de forma práctica y estructurada, sentando las bases para un modelo portuario más integrado, eficiente y preparado para afrontar retos actuales y futuros.

## La nueva era de los puertos inteligentes

Durante siglos, los **puertos** han funcionado como **nodos físicos** de intercambio: espacios donde confluyen mercancías, personas y culturas y desde donde los que se articula el comercio internacional. Su valor residía principalmente en su localización geográfica estratégica, en su capacidad de atraque y en la infraestructura disponible para la manipulación de carga.

Sin embargo, en las últimas décadas, el papel del puerto ha experimentado una transformación profunda. El crecimiento del comercio global, la contenerización, la aparición de grandes alianzas navieras y la consolidación de cadenas logísticas complejas han convertido a los puertos en mucho más que una simple infraestructura física. Hoy en día, un puerto es un **ecosistema logístico** altamente interconectado que integra transporte marítimo, ferroviario y terrestre, servicios aduaneros, operadores logísticos, terminales especializadas y múltiples actores públicos y privados.

La competitividad portuaria ya no depende únicamente del número de grúas o de la profundidad de sus calados. Depende cada vez más de la eficiencia operativa, la capacidad de coordinación entre actores y la rapidez con la que fluye la información. En un entorno donde los márgenes son estrechos y los volúmenes crecientes, la gestión inteligente de datos y procesos se ha convertido en un factor determinante.

En este contexto emerge el concepto de **Smart Port** o puerto inteligente (BID 2020), estrechamente vinculado a la industria 4.0 y a la creciente digitalización del sector portuario. Aunque no existe una definición única y universalmente aceptada, el término suele referirse a aquellos puertos que incorporan tecnologías digitales avanzadas para optimizar sus operaciones, mejorar la toma de decisiones y aumentar su sostenibilidad y resiliencia.

Un puerto inteligente integra herramientas como:

- Sistemas avanzados de gestión operativa.
- Plataformas digitales de intercambio de información.
- Sensores e Internet de las Cosas (IoT).
- Analítica de datos y sistemas predictivos.
- Automatización de equipos y procesos.
- Digital twins y simulación en tiempo real.
- Tecnologías de identificación automática (OCR<sup>1</sup>, RFID<sup>2</sup>, ANPR<sup>3</sup>).
- Soluciones basadas en inteligencia artificial.
- Sistemas avanzados de ciberseguridad.

No obstante, la verdadera inteligencia de un puerto no reside únicamente en la adopción de tecnología. Un puerto puede disponer de sistemas sofisticados y seguir funcionando de manera fragmentada si dichos sistemas no están alineados con los procesos y con el conjunto del ecosistema logístico. El **puerto inteligente** requiere una visión sistémica, que implica integrar operaciones marítimas, terminales, accesos terrestres, hinterland

<sup>1</sup> [https://www.mobotix.com/sites/default/files/2025-01/MOBOTIX\\_E-book\\_OCR\\_Guide\\_es\\_250127\\_web.pdf](https://www.mobotix.com/sites/default/files/2025-01/MOBOTIX_E-book_OCR_Guide_es_250127_web.pdf)

<sup>2</sup> <https://www.ontsi.es/sites/ontsi/files/1259578419892.pdf>

<sup>3</sup> [https://oa.upm.es/53515/1/TFG\\_ALVARO\\_AZOFRA\\_DE\\_LAS\\_HERAS.pdf](https://oa.upm.es/53515/1/TFG_ALVARO_AZOFRA_DE_LAS_HERAS.pdf)

ferroviario y servicios administrativos en un entorno digital coherente. Supone pasar de una digitalización aislada por departamentos o por organizaciones a una transformación coordinada del conjunto del sistema portuario, conocido como puerto hiperconectado.

Para poder llegar a ello, la **digitalización** o transformación digital en los puertos es una necesidad estructural, no una tendencia emergente. Existen diversos factores que han acelerado este proceso, como son el crecimiento del tamaño de los buques y concentración de escalas, mayor presión sobre la reducción de tiempos de estancia, incremento de la exigencia regulatoria y documental, necesidad de trazabilidad en tiempo real, objetivos ambientales y de descarbonización, etc.

La gestión manual o basada en sistemas desconectados genera ineficiencias que hoy resultan inasumibles. Los retrasos en el intercambio de información pueden traducirse en congestión en accesos, mala asignación de recursos, sobrecostes operativos o pérdida de competitividad frente a otros nodos logísticos.

Además, las recientes crisis globales (pandemias, disrupciones geopolíticas, cuellos de botella logísticos) han puesto de manifiesto la necesidad de contar con sistemas que permitan anticipar escenarios, simular impactos y reaccionar con agilidad ante eventos imprevistos. Lo que pone de relieve que la resiliencia portuaria está estrechamente ligada a la calidad y disponibilidad de la información.

## El puerto como ecosistema complejo y multinivel

Los puertos modernos son mucho más que terminales de intercambio modal. Constituyen **ecosistemas** dinámicos donde convergen múltiples cadenas de valor, marcos regulatorios, intereses empresariales, y flujos físicos y digitales. Su complejidad no se deriva únicamente del volumen de mercancías que gestionan, sino de la densidad de relaciones que se generan entre los distintos actores que intervienen en cada operación. Comprender esta complejidad es esencial para entender por qué la transformación digital en el ámbito portuario no puede abordarse de manera aislada ni fragmentada.

Uno de los rasgos definitorios del entorno portuario es la coexistencia de una amplia diversidad de **actores**, cada uno con funciones, responsabilidades y objetivos específicos. Entre los principales participantes del ecosistema portuario se encuentran: autoridades portuarias, operadores de terminales (contenedores, graneles, vehículos, mercancía general), navieras, agentes marítimos, operadores logísticos y transitarios, empresas estibadoras, transportistas por carretera, operadores ferroviarios, autoridades aduaneras y organismos de inspección fronteriza, empresas de servicios auxiliares (remolcadores, prácticos, amarradores, bunkering), cargadores e importadores/exportadores, etc.

Cada uno de estos actores participa en diferentes fases del proceso logístico y maneja información específica que resulta crítica para el conjunto de la operación. Sin embargo, sus intereses no siempre están alineados. Mientras que una terminal puede priorizar la eficiencia en el uso de sus recursos, una naviera puede centrarse en minimizar el tiempo de escala, y un transportista en optimizar sus tiempos de acceso y salida.

Esta diversidad genera una red de dependencias mutuas donde cualquier

descoordinación puede tener efectos en cadena. El puerto, por tanto, no funciona como una organización jerárquica única, sino como un sistema distribuido donde la coordinación es un elemento clave.

Además, la complejidad del ecosistema portuario se intensifica por la convergencia de operaciones **marítimas, terrestres y ferroviarias**, cada una con requisitos propios, pero profundamente interdependientes. En el ámbito marítimo, la llegada de un buque exige una planificación anticipada de atraques, recursos y secuencias operativas, mientras que en la dimensión terrestre miles de camiones dependen de ordenes de transporte, accesos y validaciones para evitar congestiones. A ello se suma el modo ferroviario, que opera con ventanas temporales rígidas y capacidades predefinidas, requiriendo la correcta asignación de vías, composición de trenes y sincronización con la actividad marítima y por carretera. En este entorno multimodal, cualquier desajuste en un modo repercute inmediatamente en los demás, lo que convierte la comunicación fluida, el intercambio de información en tiempo real, y la coordinación entre todos los actores en un requisito indispensable para garantizar eficiencia, seguridad, y continuidad operativa.

En este entorno altamente complejo, la **digitalización desalineada** entre actores puede generar una fuerte fragmentación digital, en la que cada organización adopta herramientas propias sin garantizar su interoperabilidad. Esto se traduce en duplicidad e inconsistencias de datos, retrasos en la actualización de estados, procesos manuales para reconciliar sistemas, dependencia de correos o documentos no estructurados, y una limitada visibilidad global de las operaciones. En lugar de aportar eficiencia, esta digitalización inconexa traslada la complejidad del ámbito físico al digital y, además, dificulta la adopción de soluciones avanzadas como la planificación predictiva, la simulación en tiempo real o la optimización intermodal, que requieren información coherente, integrada y compartida entre todos los actores.

### Plataformas digitales en el entorno portuario

La diversidad de actores que conviven en el ecosistema portuario no solo se manifiesta en el plano organizativo y operativo, sino también en el tecnológico. Cada participante de la cadena logística dispone de sus propias herramientas o **plataformas digitales**, diseñadas para optimizar sus procesos internos y responder a sus necesidades específicas. Esta realidad tecnológica refleja la complejidad multinivel descrita anteriormente, así como el puerto no es una única entidad, tampoco lo es su entorno digital.

Las **terminales de contenedores**, por ejemplo, operan mediante sistemas avanzados de gestión conocidos como **Terminal Operating Systems (TOS)**, que planifican, ejecutan y monitorizan las operaciones de muelle, patio y puerta. Estos sistemas gestionan la asignación de recursos, la ubicación de los contenedores, la secuencia de carga y descarga de los buques y la coordinación con el transporte terrestre y ferroviario. Son, en esencia, el núcleo operativo digital de la terminal.

En el ámbito ferroviario, los **operadores ferroviarios** y terminales interiores utilizan plataformas específicas para la planificación de trenes, la asignación de vías, la composición

de convoyes, y la gestión de movimientos de vagones y unidades intermodales.

Las **navieras**, por su parte, gestionan sus escalas y operaciones mediante sistemas propios que integran planificación de flotas, gestión de espacios a bordo, documentación de transporte y coordinación global de rutas. Estos sistemas interactúan con agentes consignatarios y con las terminales para asegurar que la información relativa a planes de estiba, listas de carga y descarga o incidencias operativas fluya con precisión.

A ello se suman los **sistemas aduaneros** y de inspección fronteriza, que gestionan declaraciones, autorizaciones, controles y validaciones regulatorias. La dimensión normativa introduce un componente adicional de complejidad digital, ya que la información debe cumplir requisitos legales estrictos y mantenerse alineada con marcos regulatorios nacionales e internacionales.

Los **transportistas por carretera** y los operadores logísticos también disponen de herramientas propias, desde sistemas de gestión de flotas hasta plataformas de planificación de rutas y control de entregas. Asimismo, los **cargadores e importadores** trabajan con sistemas empresariales de gestión, comúnmente integrados en plataformas ERP, que registran pedidos, inventarios, facturación, y seguimiento de mercancías.

El resultado es un entorno donde conviven **múltiples plataformas**, cada una optimizada para un ámbito concreto, pero que necesitan intercambiar información de forma constante para que la cadena logística funcione de manera eficiente. El contenedor que llega a puerto no es solo una unidad física, sino también un conjunto de datos que debe transitar entre sistemas distintos a lo largo de su ciclo de vida operativo.

En este contexto emergen plataformas concebidas no para gestionar una operación específica, sino para facilitar la comunicación y el intercambio estructurado de información entre los distintos actores. Entre ellas destacan los **Port Community Systems (PCS)**, que actúan como nodos de integración dentro de la comunidad portuaria. Estas plataformas permiten centralizar y distribuir mensajes, coordinar procesos documentales, y ofrecer visibilidad compartida sobre determinados hitos operativos. Su función no es sustituir los sistemas internos de cada organización, sino conectarlos de manera que el flujo de información acompañe de forma coherente al flujo físico de las mercancías.

### ¿Qué entendemos por interoperabilidad?

Esta realidad tecnológica plantea preguntas fundamentales sobre cómo garantizar coherencia, consistencia, y fluidez en el intercambio de información. Es aquí donde el concepto de interoperabilidad adquiere una dimensión práctica y estratégica, convirtiéndose en el elemento que permite transformar una suma de plataformas individuales en un verdadero ecosistema digital integrado.

La coexistencia de múltiples plataformas digitales en el entorno portuario hace evidente que la digitalización por sí sola no garantiza eficiencia sistémica. Para que el ecosistema funcione como un todo coherente, es necesario que los distintos sistemas, actores y procesos puedan comunicarse, comprenderse y coordinarse de manera estructurada. Este principio se resume en el concepto de **interoperabilidad**, que puede analizarse desde

distintas dimensiones complementarias (European Commission 2017).

La **interoperabilidad técnica** se refiere a la capacidad de los sistemas tecnológicos para intercambiar datos de forma automática, segura, y estructurada mediante estándares y protocolos comunes, como es API REST. Implica el uso de interfaces compatibles, formatos de mensajería reconocidos, y arquitecturas que permitan la integración entre plataformas heterogéneas. Sin esta base técnica, la comunicación entre sistemas depende de soluciones manuales o adaptaciones específicas que generan rigidez y aumentan los costes de mantenimiento.

La **interoperabilidad semántica** va un paso más allá y aborda la necesidad de que la información intercambiada tenga el mismo significado para todos los participantes. No basta con transmitir datos, es imprescindible que conceptos como estado de un contenedor, autorización aduanera o disponibilidad operativa se interpreten de manera uniforme. La ausencia de un lenguaje común o de modelos de datos compartidos puede generar inconsistencias que afecten directamente a la toma de decisiones y a la coordinación entre actores.

La **interoperabilidad organizativa** se centra en la alineación de procesos, responsabilidades y reglas de negocio entre las distintas entidades que operan en el puerto. Supone que los flujos de información estén integrados en procedimientos coordinados y que exista una gobernanza clara sobre quién genera, valida y consume cada dato. Estos flujos de información, que se hacían por medios tradicionales como fax, teléfono, o email, ahora deben traducirse un formato digital.

Por último, se debe garantizar que el intercambio de información y la digitalización de procesos se ajusten a los marcos regulatorios vigentes, incluyendo normativas de seguridad, protección de datos, y estándares internacionales del transporte. La compatibilidad jurídica es esencial para que la transformación digital no genere riesgos de cumplimiento ni barreras regulatorias que limiten su adopción.

## La interoperabilidad como habilitador del puerto inteligente

El verdadero valor de la interoperabilidad emerge cuando se analiza su impacto sobre el funcionamiento global del ecosistema portuario. En un entorno caracterizado por la diversidad de actores, la multimodalidad, y la presión competitiva, la capacidad de integrar sistemas y procesos se convierte en un multiplicador de **eficiencia**, un facilitador de **sostenibilidad** y un pilar de **resiliencia** operativa.

La **eficiencia operativa** en un puerto depende de una interoperabilidad real entre todos los sistemas que gestionan los flujos marítimos, ferroviarios y terrestres. Cuando estas plataformas comparten información estructurada y en tiempo real, es posible anticipar llegadas, ajustar recursos, coordinar ventanas ferroviarias, y evitar congestiones en accesos terrestres. La eliminación de duplicidades y validaciones manuales mejora la coherencia documental y reduce tiempos de espera, mientras que la integración de datos históricos y operativos permite aplicar herramientas predictivas y algoritmos de optimización que transforman decisiones aisladas en decisiones basadas en información. El resultado es

una mayor productividad, menor tiempo de estancia de buques y un uso más eficiente de infraestructuras críticas, lo que se traduce en menores costes operativos y una mayor competitividad del puerto.

La interoperabilidad contribuye de manera directa a la **sostenibilidad** portuaria al optimizar la coordinación entre modos de transporte y reducir ineficiencias operativas que generan emisiones innecesarias. Cuando los sistemas marítimos, ferroviarios, y terrestres comparten información en tiempo real, se facilita la planificación intermodal, se minimizan movimientos en vacío, se reducen tiempos de espera, y se mejora la asignación de recursos. Esta integración permite no solo disminuir el consumo energético y la huella de carbono asociada a la operativa diaria, sino también consolidar datos ambientales fiables para medir el desempeño y avanzar hacia objetivos de descarbonización basados en evidencias. La sostenibilidad, por tanto, no depende únicamente de la electrificación de equipos o del uso de combustibles alternativos, sino también de la capacidad del ecosistema digital para coordinarse de forma eficiente.

La interoperabilidad fortalece también la **resiliencia** del puerto al proporcionar visibilidad transversal y capacidad de reacción ante disrupciones operativas. La integración estructurada de datos entre actores permite detectar incidencias con mayor rapidez, redistribuir recursos, y reprogramar operaciones de forma coordinada, reduciendo el impacto de retrasos o interrupciones externas. Un entorno interoperable facilita además la implementación de planes de contingencia compartidos y la simulación de escenarios, mejorando la preparación ante crisis sanitarias, eventos climáticos, o alteraciones en las cadenas globales de suministro. De este modo, la resiliencia deja de depender únicamente de la robustez física de las infraestructuras y pasa a apoyarse también en una arquitectura digital integrada y adaptable.

### Desafíos actuales para alcanzar una verdadera interoperabilidad

Si bien la interoperabilidad se presenta como un elemento clave para la eficiencia, sostenibilidad y resiliencia de los puertos inteligentes, su implementación efectiva está lejos de ser sencilla. La transición desde entornos digitalizados de manera parcial hacia ecosistemas plenamente integrados implica superar una serie de **desafíos estructurales, tecnológicos y organizativos**.

Uno de los principales obstáculos es la coexistencia de **sistemas heredados** o legacy. Muchos actores portuarios operan con plataformas implantadas hace décadas, diseñadas para necesidades específicas y con arquitecturas cerradas que dificultan su integración con soluciones más recientes. La actualización o sustitución de estos sistemas requiere inversiones significativas, planificación cuidadosa y gestión del riesgo operativo, lo que ralentiza los procesos de transformación digital.

A esta limitación tecnológica se suma la **heterogeneidad de estándares y modelos de datos**. Aunque existen marcos y formatos ampliamente utilizados, no todos los actores los adoptan de manera uniforme, y en muchos casos se desarrollan adaptaciones locales que generan divergencias semánticas. La falta de un lenguaje común plenamente

compartido complica la automatización de procesos y obliga a mantener mecanismos de validación manual o reconciliación de información.

La **dimensión organizativa** constituye otro desafío relevante. La interoperabilidad requiere confianza entre actores que, en muchos casos, mantienen relaciones competitivas o intereses divergentes. Compartir información estratégica puede generar reticencias, especialmente cuando no existe una gobernanza clara sobre el uso, la propiedad y la protección de los datos.

La **ciberseguridad** es igualmente un factor crítico. A medida que aumenta el nivel de interconexión entre sistemas, también crece la superficie de exposición a riesgos digitales. Un entorno interoperable debe incorporar mecanismos robustos de protección, autenticación y permisos de acceso a información que garanticen la integridad y confidencialidad de la información intercambiada. La confianza en la seguridad del sistema es un requisito indispensable para fomentar la participación de todos los actores.

Otro desafío significativo reside en la **calidad del dato**. La interoperabilidad amplifica tanto el valor como los errores de la información compartida. Si los datos de origen no son fiables, coherentes y actualizados, su integración puede propagar inconsistencias a lo largo de toda la cadena logística. La gobernanza del dato, la definición de responsabilidades y la implementación de mecanismos de validación se convierten, por tanto, en elementos estratégicos.

Finalmente, la transformación hacia un entorno plenamente interoperable exige capacidades digitales avanzadas y un **cambio cultural** profundo. No se trata únicamente de conectar sistemas, sino de rediseñar procesos y adoptar una mentalidad orientada a la colaboración y la transparencia. Esto implica formación, adaptación organizativa y liderazgo estratégico.

Solo abordando estos retos de forma coordinada es posible consolidar puertos verdaderamente inteligentes y preparados para afrontar las exigencias del comercio global contemporáneo.

## Iniciativas en el puerto hacia la interoperabilidad

Los desafíos asociados a la interoperabilidad en el entorno portuario no pueden abordarse de manera aislada por cada actor. Requieren enfoques colaborativos que integren a la comunidad portuaria en torno a una visión compartida de transformación digital. En este contexto se enmarca el proyecto **TRAMA** (Optimisation of the TRAffic MAnagement and infrastructure capacity in the port of Valencia) (Fundación Valenciaport 2024), cofinanciado por la Comisión Europea, concebido como una iniciativa orientada a avanzar hacia una mayor integración operativa y digital del ecosistema logístico-portuario.

El **objetivo principal** es impulsar la transformación digital del ecosistema portuario mediante el refuerzo de la interoperabilidad entre plataformas y actores, facilitando una gestión más eficiente, sostenible y resiliente de los flujos logísticos. Este objetivo general se traduce en metas específicas como la actualización y evolución de sistemas operativos clave, la mejora de la integración multimodal entre puerto y terminales interiores, y el

fortalecimiento de los mecanismos de intercambio de información estructurada entre participantes de la comunidad portuaria. Además, las distintas plataformas deben ser integrables con plataformas logísticas nacionales.

### Referencias bibliográficas

BID. 2020. *Manual de puertos inteligentes: Estrategia y hoja de ruta*. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Manual-de-puertos-inteligentes-Estrategia-y-hoja-de-ruta.pdf> [Consultado 25/02/2026]

European Commission. 2017. *EIF 2.0. 2017. European Interoperability Framework*

Fundacion Valencaiport. 2024. *Proyecto TRAMA*. Disponible en: <https://www.fundacion.valenciaiport.com/proyecto/trama-optimisation-of-the-traffic-management-and-infrastructure-capacity-in-the-port-of-valencia/> [Consultado 26/02/2026]

Pharos 39.0

Valenciaport Knowledge Hub

<https://www.pharos390.com>

info@pharos390.com