

# Clasificación de los diez primeros smart ports en el sistema portuario español desde una perspectiva económica, social, institucional, medioambiental y el grado de digitalización

## *The Top 10 Smart Ports in the Spanish Port System From an Economic, Social, Institutional and Environmental Perspective, and the Degree of Digitalization*

Alberto Rodrigo González<sup>1</sup>, Nicoleta González-Cancelas<sup>2</sup>, Beatriz Molina Serrano<sup>3\*</sup>, Alberto Camarero Orive<sup>4</sup>

---

### Resumen

Los *Smart Ports* se apoyan en la tecnología para dinamizar y modernizar el transporte marítimo, lo que permite mejorar los servicios portuarios, satisfaciendo de la mejor manera posible las necesidades de los usuarios. La tendencia de los puertos es convertirse en smart ports pero esto sólo puede conseguirse con una estrategia a largo plazo pues se deben coordinar muchas acciones que permitan aumentar la seguridad, mejorar la eficiencia y hacer al puerto sostenible. Sólo aquellos puertos capaces de adaptarse al cambio podrán subsistir en un futuro no muy lejano. Por tanto, la necesidad de los puertos de hacerse más inteligentes está modificando su operativa, por lo que en el presente artículo se lleva a cabo un análisis del sistema portuario español, evaluando los diferentes puertos en base al nuevo concepto “Smart Port”. Para ello se definen una serie de indicadores y variables de medición que permitan cuantificar diferentes aspectos técnicos, tanto cualitativos como cuantitativos, para reflejar de la manera más objetiva y completa posible la adecuación y la consecución por parte de los puertos estudiados de las características y objetivos asociados al nuevo concepto.

**Palabras clave:** TOP10, automatización, digitalización, indicador, sistema portuario español.

### Abstract

*The so-called Smart Ports are based on technology to dynamize and modernize maritime transport. They allow to improve port services, satisfying in the best possible way users' needs. The trend is for ports is to become smart ones, but this can only be achieved with a long-term strategy because many actions must be coordinated to increase safety, improve efficiency and make the port sustainable. Only those ports that are able to adapt to change will be able to survive in the not too distant future. Therefore, the need for ports to become more intelligent is by modifying their operations. Thus this article carries out an analysis of the Spanish port system, evaluating the different ports according to the new “Smart Port” concept. To this end, a series of indicators and measurement variables are defined to let different technical aspects, both qualitative and quantitative, be quantified in order to reflect as objectively and completely as possible the degree of adaptation and achievement by the ports studied of the characteristics and objectives associated with the new concept.*

**Keywords:** Top ten, automation, digitalization, index, Spanish Port System.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia clave del sector portuario en la vida de los ciudadanos es debida no sólo al gran volumen de negocio, sino también a la búsqueda de la eficiencia social, medioambiental y económica en este campo (Schipper, Vreugdenhil y De Jong, 2017). Por tanto, una leve mejora en la rentabilidad del aspecto que sea, en el sector portuario tendrá unas repercusiones enormes como consecuencia

del gran número de operaciones portuarias que se llevan a cabo.

Así, la aplicación del concepto *Smart* en el sector portuario resulta especialmente relevante, por lo que ha nacido el término *Smart Port* (Belfkih, Duvallat y Sadeg, 2017). Este nuevo concepto suscita un gran interés en todos los puertos en activo, al ser la base para el desarrollo y la supervivencia futura de cualquier puerto.

El término *Smart Port* se basa en la utilización de las nuevas tecnologías para transformar los servicios portuarios tradicionales en servicios interactivos y dinámicos, de forma que sean más eficientes y más transparentes (Heilig, Lalla-Ruiz y Voß, 2017). El objetivo es satisfacer las necesidades y requerimientos de clientes y usuarios, al tiempo que se incluyen como pilares fundamentales, por un lado, la sostenibilidad del complejo portuario desde el punto de vista medioambiental, y por otro la orientación del puerto

---

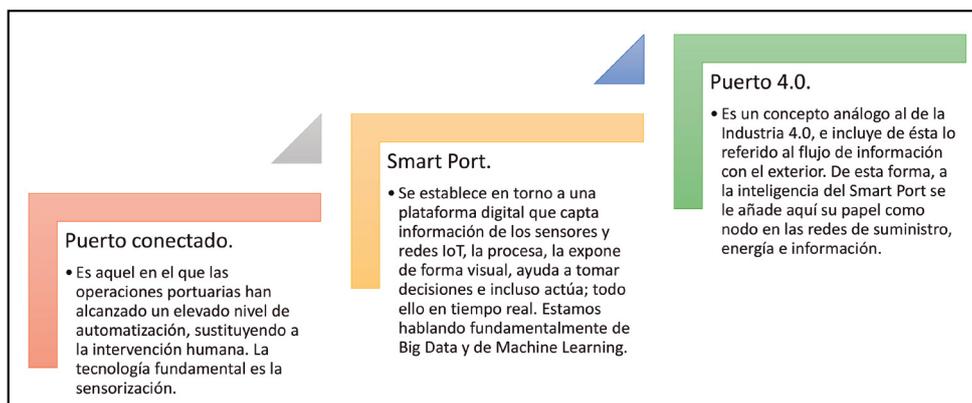
\* Autora de contacto: [beatriz.molinas@alumnos.upm.es](mailto:beatriz.molinas@alumnos.upm.es)

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>3</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>4</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.



**Figura 1.** Evolución de puerto conectado a Puerto 4.0.

hacia la ciudad y el ciudadano, con espacios y servicios de calidad (Jardas, Dundović, Gulić e Ivanić, 2018). Por tanto, el *Smart Port* está pensado para que se integre de manera completa con el concepto de *Smart City* (Yang, Zhong, Yao, Yu, Fu y Postolache, 2018). Para ver la evolución de puerto conectado a puerto electrónico consultar la figura 1

Así, el uso de las nuevas tecnologías hará posible el puerto del futuro o *Smart Port*, de forma que el sistema portuario caminará de la mano con el transporte de datos y los sistemas de *big data*, cuya implantación permitirán una transformación completa en distintos ámbitos (Heilig, y Voß, 2016).

En el ámbito comercial (Acciario, Renken y El Khadiri, 2020), una mayor eficiencia en la logística del transporte marítimo y una mejora en la sincronización de los tráficos y la gestión de las mercancías tendrán una gran repercusión en el precio final del producto, traducándose también en una mayor rentabilidad comercial.

En el ámbito institucional, las tecnologías de información y comunicación (TIC) permitirán una simplificación, una mayor eficacia y una mayor seguridad en la gestión de los puertos, al tiempo que se mejorarán las relaciones entre entidades y la transmisión de información (Heilig, Lalla-Ruiz y Voß, 2017). A su vez, será posible un mayor control de las mercancías entrantes y salientes, lo que además supone una mejora en la seguridad aduanera de los países.

En el ámbito social, un *Smart Port* debe estar concebido situando a los ciudadanos como epicentro del puerto del futuro (Tan-Mullins, Cheshmehzangi, Chien y Xie, 2017). Para ello, el complejo portuario debe integrarse de forma sostenible con la ciudad y/o el entorno, disponiendo espacios para el uso del ciudadano, que fomenten su relación con el mar y permitan su disfrute (Jović, Kavran, Aksentijević y Tijan, 2019). A su vez, la gestión del puerto debe ser transparente y abierta, empleando plataformas informáticas o aplicaciones que permitan al ciudadano conocer el día a día de las actividades portuarias y poder ser parte de ellas (Ilin, Jahn, Weigell y Kalyazina, 2019).

El ámbito medioambiental está muy ligado al social, ya que el puerto debe llevar a cabo sus actividades de forma que los impactos negativos sobre los ciudadanos y el entorno del puerto se reduzcan al máximo (Schipper, Vreugdenhil y De Jong, 2017). Para ello se dispondrá de tecnologías que regulen las actividades desarrolladas en el puerto, tales como el tratamiento de sustancias peligrosas o pulverulentas, bajo los máximos estándares de seguridad posibles



**Imagen 1.** El complejo portuario debe integrarse de forma sostenible con la ciudad.

(Fobbe, Lozano y Carpenter, 2019). A su vez se debe disponer de análisis y/o controles periódicos que vigilen la contaminación y el vertido de sustancias peligrosas en el puerto, midiendo la calidad de las aguas y la contaminación potencial que pueden ocasionar las embarcaciones que quieran hacer uso del mismo (González-Cancelas, Molina Serrano y Soler-Flores, 2019). La tecnología también tendrá un papel importante en la identificación y el control de riesgos potenciales en el transporte marítimo, a través de la detección, por ejemplo, de condiciones climatológicas adversas por el ejemplo, o de un vertido repentino de sustancias peligrosas (Lo, Wu, Chen, Tseng, Lin y Hsu, 2016).

A pesar de la claridad en las tendencias con las que cuenta el concepto de *smart port*, falta una definición clara y concreta de sus fundamentos, si bien, a medida que la presencia de sistemas de detección inteligente en los puertos se hace realidad, diferentes áreas de operación trabajan ya en modo automático, haciendo que el concepto se vaya asentando.

El objetivo de este artículo es mostrar el indicador que se ha desarrollado para medir y jerarquizar los puertos en su categoría *smart port*, así como su aplicación al Sistema Portuario español, con objeto de obtener un TOP10 de *smart port* de los puertos españoles.

## 2. ESTADO DEL ARTE

El sistema portuario es un punto clave en el sistema económico mundial. Por ello, el principal incentivador de la evolución en la gestión de los puertos es la combinación

entre la propia evolución de los sistemas de mercado productivos y la competencia entre puertos. Así, el sector portuario, en su intento de adaptación a los cambios en los modelos de mercado, va evolucionando a la par de los sistemas económicos mundiales en búsqueda de mayor rentabilidad y eficiencia (Song y Cullinane, 2017).

Es por ello que, tanto los cambios en los modelos económicos mundiales como los cambios políticos que repercuten de manera crucial en los modelos de mercado, tienen un papel fundamental en la evolución de la gestión portuaria (Monios, Wilmsmeier y Ng, 2019). En la actualidad, existen claros ejemplos relacionados con este grupo de factores político-económicos, tales como el creciente fenómeno de globalización o las políticas de tasas e impuestos a mercancías por parte de los distintos gobiernos que presentan un papel clave en el sistema portuario (Zhang y Roe, 2019).

Así, la concepción global de los modelos económicos y las relaciones entre los distintos países se convierten en piezas clave para el sistema portuario, destacando dentro de los factores económicos los cambios en las tendencias del tráfico marítimo marcadas por las navieras (Corral, Cancelas y Orive, 2019).

La digitalización está llevando a la industria marítima más allá de sus límites tradicionales y brinda muchas oportunidades nuevas para mejorar la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad de la logística (González-Cancelas, Molina Serrano y Soler-Flores, 2019). El concepto de puertos inteligentes, por ejemplo, apunta a adoptar tecnologías de información modernas para permitir una mejor planificación y administración dentro y entre los puertos. Las necesidades más urgentes de la digitalización son inversiones en tecnología y cooperaciones para promover el intercambio de información y una mejor coordinación y colaboración, a menudo considerados como un obstáculo en entornos altamente competitivos. Además de muchas nuevas oportunidades, surgen importantes problemas y problemas económicos.

La transformación hacia el *puerto 4.0* pasa por medidas para potenciar la eficiencia logística en el ámbito de infraestructuras, de operaciones y de prestación de servicios, la mejora de la sostenibilidad ambiental y energética, la seguridad y protección, así como la digitalización de procesos y plataformas inteligentes (Orive, Santiago, Corral y González-Cancelas, 2020). Los puertos han jugado siempre un papel clave en el desarrollo de la sociedad siendo un elemento fundamental en el desarrollo económico de los distintos países y estando en una posición estratégica a nivel mundial. Los actuales cambios a nivel global motivados por nuevas formas de comunicación, patrones de comportamiento, tecnologías innovadoras, etc., han propiciado que los puertos no puedan quedarse al margen de estas nuevas tendencias; han de tomar un papel activo en este cambio global, siendo un elemento principal de la transformación.

Al mismo tiempo, y en relación clara con el presente artículo, las grandes revoluciones a nivel tecnológico tienen una importancia clave como motores de cambio, tal y como ocurrió en la revolución industrial, que supuso un cambio absoluto en los modelos de producción ahora el sector portuario se encuentra inmerso en la industria 4.0 (Rajput y Singh, 2018). En la actualidad estamos inmersos



**Imagen 2.** La automatización de la operativa del patio es una opción hacia la digitalización.

en la revolución digital de las TIC, que junto con la automatización, está revolucionando todos los sectores de la industria y los servicios (Cho, 2018). Por ello, los dos mayores potenciadores de cambio en los sistemas de gestión portuaria actualmente son la digitalización y la automatización de los puertos para lograr llegar a los puertos 4.0 (Orive, Santiago, Corral y González-Cancelas, 2020). Paradójicamente, el sistema portuario no se ha ido renovando y adaptando a la revolución digital todo lo rápido que cabría suponer, en comparación con otros sectores económicos, más aún si se considera la enorme importancia del sistema portuario en la economía (Nistor, Popa y Gavra, 2018). Pese a ello, cabe señalar que en los últimos años se están haciendo grandes esfuerzos por parte de las autoridades portuarias al respecto, tratando de recuperar el tiempo perdido y ponerse a la par de otros sectores de negocio, siendo este el punto de partida del estudio desarrollado (Fruth y Teuteberg, 2017).

A continuación se muestra un mapa de perspectiva global desde hoy a corto y medio plazo con los elementos más destacados por los expertos, diferenciando entre los elementos que pongan innovación en valor y los que suponen tan sólo imitación en valor (figura 2).

No obstante, no se puede olvidar citar como motor de cambio el terreno social y la opinión de la ciudadanía, pues han ido ganando peso en los últimos años, y han impulsado la consideración de la opinión pública y el servicio al ciudadano dentro de las políticas de gestión portuarias.

Siguiendo con este concepto, nace la conciencia sostenible que actualmente es un factor clave de cambio en el sector portuario. Prueba de ello es que en los últimos años todos los cambios introducidos en los sistemas de gestión se miran a través de la lupa de la sostenibilidad medioambiental, buscando un sistema portuario que sea respetuoso con el medio ambiente y trate de evitar, en la medida de lo posible, afecciones sobre éste (Serrano, González-Cancelas, Soler-Flores y Camarero-Orive, 2017). Ejemplo claro de esta concienciación es el proceso de descarbonización que se vive en la actualidad, a través del cual se tratan de fomentar combustibles más sostenibles en el transporte marítimo, como el gas natural licuado (González-Cancelas, Molina Serrano y Soler-Flores, 2019).

Uno de los trabajos más destacados en este ámbito, es el proyecto europeo “Action plan towards the Smart Port concept in the Mediterranean Area” (PORT, 2016), cuyo objetivo es analizar la situación de los puertos de contenedores

	HOY	MEDIO PLAZO	LARGO PLAZO
<b>MERCADO INNOVADOR</b> Innovador en valor		<ul style="list-style-type: none"> <li>HERRAMIENTAS DE CONTROL</li> <li>EMPODERAMIENTO DIGITALES</li> <li>GOBIERNO DIGITAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HERRAMIENTAS DE CONTROL</li> <li>GOBIERNO DIGITAL</li> </ul>
<b>Mejora en valor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>COMPETENCIAS DIGITALES</li> <li>RELACIONES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>COMPETENCIAS DIGITALES</li> <li>RELACIONES</li> <li>FORMALIZACIÓN DE LA INNOVACIÓN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>COMPETENCIAS DIGITALES</li> <li>RELACIONES</li> </ul>
<b>MERCADO IMITADO</b> Imitación en valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>PROCESOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CAMBIO CULTURAL</li> <li>PROCESOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CAMBIO CULTURAL</li> <li>PROCESOS</li> </ul>

Figura 2. Mapa de perspectiva.

del Mediterráneo en función de las tendencias de smart port e identificar el camino a seguir para mejorar el papel principal de los puertos de contenedores del sur de Europa y consolidarlos como la puerta de entrada principal a los grandes centros de consumo europeos, en lugar de los puertos del norte de Europa. Los resultados que se pretendían conseguir con este estudio son la definición de los criterios que definen al concepto smart port enfatizando las áreas operativas y de eficiencia energética, las áreas competitividad y áreas ambientales, estando el proyecto orientado fundamentalmente al ámbito de competitividad y eficiencia productiva y a la sostenibilidad ambiental y energética. Sin embargo, deja de lado algunos de los grandes pilares del concepto smart port, como son el social y el político institucional.



Imagen 3. Las áreas operativas y de eficiencia energética como prioritarias para los smart ports.

En esta línea, otro estudio a destacar es la investigación llevada a cabo por el Department of Industrial Engineering de la Universidad de Houston y por el College of Architecture and Design de la misma universidad, titulado "A Framework for Building a Smart Port and Smart Port Index" (Molavi, Lim y Race, 2019). Dicho estudio pretende definir los puntos clave y características distintivas de un Smart Port, como respuesta a la falta de una definición clara y unificada en la literatura científica. Asimismo, pretender desarrollar una metodología cuantitativa basada en el uso de indicadores o KPIs que

permitan definir un índice global de Smart Ports (*Smart Port Index*). El planteamiento de esta metodología se centra en el análisis de cuatro dominios de actividad clave de un puerto inteligente: operaciones, medio ambiente, energía y seguridad. Una vez sentadas las bases y directrices, el estudio desarrolla el caso práctico de análisis a través del índice definido del rendimiento de algunos de los puertos más activos del mundo, tomando 14 puertos relevantes a nivel internacional (Hamburg, Rotterdam, Antwerp, Busan, Singapore, Los Angeles, Vancouver, Jebel Ali, New York, Houston, Shanghai, Tanjung Priok, Jeddah y Hong Kong). Sin embargo, este trabajo posee la misma limitación que en el caso de anterior pues carece de un estudio social.

El interés sobre esta temática en España supone que desde 2017 se celebre anualmente la denominada *Jornada Smart Ports*, en las que se tratan los temas más relevantes e innovadores.

En el contexto normativo de los Smart Port, existen diversos enfoques basados en diferentes organismos internacionales, siendo los principales la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Unión Europea. En cuanto a normativas específicas destaca la promovida por la International Organization for Standardization (ISO) compuesta por diversas organizaciones nacionales de estandarización, siendo su función es establecer un conjunto de reglas, disposiciones y requisitos de normalización, metrología y control de calidad. Esta normativa existente abarca diferentes campos dentro del terreno de los smart ports.

El papel de las tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el desarrollo y adaptación al concepto de Smart Port es crucial (Rajabi, Saryazdi, Belfkih y Duvallat, 2018). Las tendencias actuales en implantación de medidas Smart Port se apoyan en el uso de las tecnologías de la Información y la Comunicación para mejorar el intercambio de conocimientos y el análisis de información, permitiendo aumentar las operaciones y la eficiencia energética, así como la sostenibilidad ambiental (Carlan, Sys y Vanelslander, 2016).

El campo de acción en el que la digitalización (Notteboom y Vitellaro, 2019) puede jugar un papel importante

abarca todo el conjunto de actividades portuarias su principal potencial de mejora abarca tanto el terreno de una mayor eficiencia en las operaciones (la cual deriva en mejores rentabilidades económicas), como el terreno de la seguridad de los trabajadores y la comunicación activa y dinámica con el entorno social, como la gestión portuaria a nivel institucional o como la sostenibilidad medioambiental y energética (Kang y Kim, 2017).

Por tanto, las infraestructuras inteligentes (*hardware* y *software*) en los puertos pueden aumentar la eficiencia y la sostenibilidad mediante la recopilación, el procesamiento y el intercambio de datos en tiempo real, de forma que debe estar disponibles para los usuarios información tal y como (Heilig, Lalla-Ruiz y Voß, 2017): el flujo de tráfico de los buques y los vehículos de transporte hacia el interior; los tiempos de cierre de los puentes móviles y otra información de infraestructura, la situación en las terminales de contenedores y otras operaciones importantes (por ejemplo, depósitos de contenedores vacíos, así como las instalaciones de estacionamiento deben estar disponibles para los usuarios del puerto).

El flujo rápido y fácil de esta información facilita la toma de decisiones tanto a las autoridades portuarias como a los clientes portuarios. En última instancia, esto conlleva mayor productividad, menos costos, mayor capacidad de competencia en el mercado, menos emisiones, mayor eficiencia energética y mayor logística ecológica (Alavi, Nguyen, Fei y Sayareh, 2018).

En relación con los estudios relativos a las TIC que permiten desarrollar smart ports, relacionados con la tecnología RFID o identificación por radiofrecuencia (sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas o transpondedores RFID) se puede citar el trabajo de Yang *et al.*, de 2018, en el cual se destacan los requisitos e ideas clave para cada puerto, la solución y los problemas relacionados con la calibración y el ensayo de los sistemas de detección asociados con los principales equipos que componen los puertos (grúas de muelle, vehículos guiados automatizados para la manipulación de contenedores y las grúas de patio) (Yang, Zhong, Yao, Yu, Fu y Postolache, 2018). Asimismo, el estudio de Liting (Liting, 2018) coteja la investigación de las aplicaciones de la RFID en los puertos inteligentes a partir de la gestión de contenedores, la gestión de vehículos y la gestión de buques; y siguiendo con esta tecnología, el estudio de Heilig y Voß de 2016 desarrolla un marco para la seguridad de los datos y la gestión de la privacidad en los puertos inteligentes (Heilig y Voß, 2016).

Por otro lado, en relación con las comunicaciones inalámbricas (PMR para voz, WiFi para datos, etc.), el estudio de Klaffke *et al.*, realiza una evaluación de las demandas y requisitos de aptitudes de las ocupaciones y profesiones en la gestión del tráfico intermodal en el puerto de Hamburgo, de forma que, a partir de las aptitudes identificadas, se proyecta una estimación de las demandas en esta área para Alemania, Europa y el mundo (Klaffke, Mühleisen, Petersen y Timm-Giel, 2017).

Además de estas tecnologías, la tecnología OCR, CCTV (identificación de contenedores/camiones, seguridad, etc.) es una de las muchas tecnologías ahora disponibles para la identificación de activos y la automatización de procesos en puertos y terminales. Aborda esta temática el

estudio de Heilig y Voß de 2017, en el que se presenta una clasificación y un estudio exhaustivo de los sistemas de información y las tecnologías de información conexas aplicadas en los puertos (Heilig y Voß, 2017) y el estudio de Attia de 2016 (Attia, 2016). En este documento se presentan las cuestiones fundamentales relacionadas con los sistemas de navegación, las redes de comunicaciones y la tecnología de la información y sus aplicaciones para asegurar los buques y el rendimiento empresarial.

Por otro lado, la tecnología GNSS es la columna vertebral de la gestión y modernización del tráfico en las terminales de contenedores de puertos marítimos. Una de las propiedades más importantes de los sistemas habilitados para ello es la capacidad de rastrear las llegadas de contenedores y su acoplamiento en la terminal. Sobre dicha tecnología trata el trabajo de Rodríguez Iranzo y Cabrer Capó, 2010, que se centra en el desarrollo de un dispositivo de localización de contenedores que ejecuta sus funciones cuando la mercancía contenerizada entra en contacto con el mar por algún motivo, indicando la posición de los contenedores hasta que estos se sumergen.



**Imagen 4.** Los contenedores y otros terminales marinos requieren terminales de operación.

En el caso de TOS (Integración de comando y control, soporte logístico, etc.), su importancia reside en el hecho de que el manejo eficiente de la carga requiere un manejo eficiente de los datos. Los contenedores y otros terminales marinos requieren terminales de operación cada vez más versátiles y otros sistemas de TIC para planificar, programar y administrar las operaciones. Los TOS son una parte clave de la cadena de suministro y tienen como objetivo principal controlar el movimiento y almacenamiento de diversos tipos de carga dentro y alrededor de una terminal de contenedores o puerto. Sobre este tema versa también el estudio de Heilig y Voß de 2017, ya mencionado (Heilig y Voß, 2017).

De igual forma, el desarrollo y la implementación de Port Community Systems (PCS) han sido factores importantes que contribuyen al movimiento más eficiente de la carga a través de las fronteras internacionales. Los puertos son cuellos de botella naturales en la cadena de transporte. Los sistemas de la comunidad portuaria han desempeñado un papel importante para facilitar el movimiento más eficiente de mercancías, al tiempo que permiten que la Aduana y otros departamentos gubernamentales mantengan controles efectivos. En el estudio de Bisogno, *et al.*, 2015, se analizan las relaciones entre todos los agentes de un sistema de comunidad portuaria o PCS.

Como se ha visto, los smart ports son un espacio multioperacional en el que conviven muchas empresas privadas diferentes: líneas de envío, empresas operadoras de terminales, los transitarios, los proveedores de transporte interior y los operadores de terminales interiores participan en el transporte interior. Por ello, los Logistics Collaborative Systems y sistemas B2B tienen un papel importante pues permiten la integración de las aplicaciones de back-end de las diferentes compañías entre sí para permitir el intercambio de datos. Dichos sistemas son tratados también en el estudio de Klaffke *et al.*, relativo al puerto de Hamburgo (Klaffke, Mühleisen, Petersen y Timm-Giel, 2017).

De igual forma, resultan de vital importancia sistemas de análisis de *big data* para tratamiento de datos complejos, como son, por ejemplo, los obtenidos con la tecnología RFID anteriormente mencionada. En la nueva era de datos, las nuevas tecnologías de la información facilitan cada vez más la recopilación de diferentes tipos de datos críticos para las empresas de diferentes fuentes, como sensores, dispositivos móviles y sistemas operativos, si bien el problema fundamental sigue siendo la voluntad de compartir información entre organizaciones que compiten y no compiten entre sí (Heilig y Voß, 2016)

Finalmente, en relación con la tecnología Blockchain, mediante la cual todas las partes de la transacción, así como un número significativo de terceros, mantienen una copia del registro (es decir, la cadena de bloques) que hace que sea prácticamente imposible modificar cada copia del registro globalmente para falsificar una transacción cabe citar el estudio de Narimane, Duvallet y Bertelle, 2017, y el de Jabbar y Bjørn, 2018, en lo que se muestra que este sistema incrementa la seguridad del tráfico de mercancías y contenedores y, al mismo tiempo, puede incrementar la transparencia de los sistemas de gestión portuarios.

### 3. METODOLOGÍA

El objetivo del presente artículo es mostrar el TOP10 de los principales puertos españoles en función de su grado de adaptación con el concepto Smart Port, obtenido tras realizar una investigación al respecto. Para ello, ha sido necesario elaborar un índice que agrupe todas las características relacionadas con los smart ports, el cual se ha aplicado posteriormente a los puertos en estudio.

Para la obtención del TOP10 de los smart ports españoles la metodología seguida es la que se esquematiza en la figura 3:

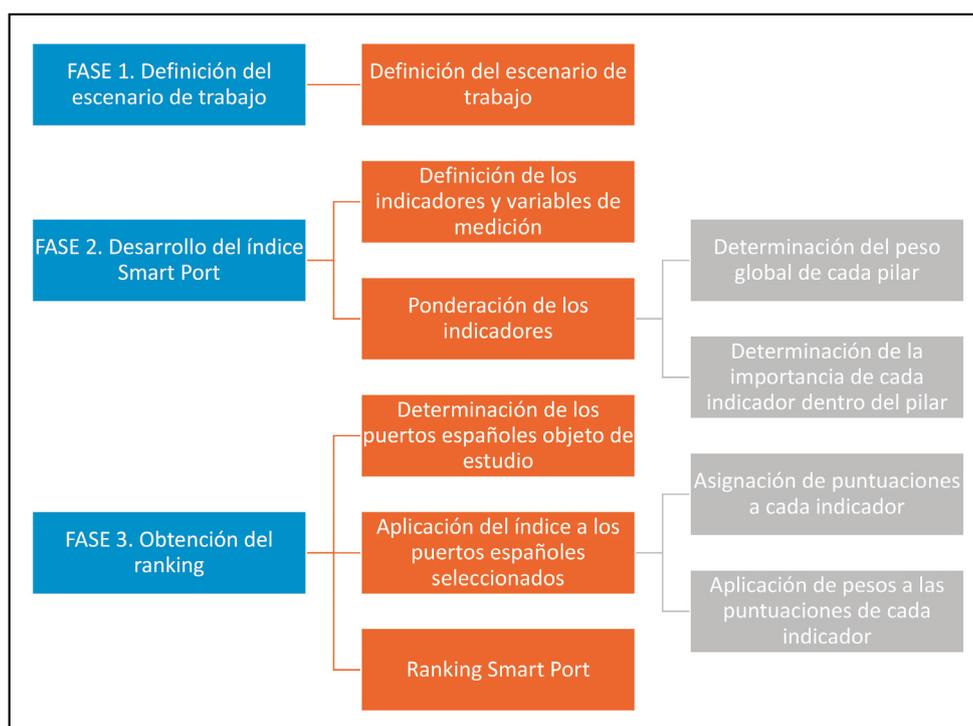


Figura 3. Esquema metodológico.

#### 3.1. Fase 1: definición del escenario de trabajo

El primer paso consiste en desarrollar un estudio exhaustivo de todo el entorno del Smart Port y sus impactos en la sociedad y en el mundo marítimo portuario, con objeto de identificar las principales áreas sobre las que tiene un impacto destacado la adaptación de un puerto al concepto smart port.

Este análisis debe estar apoyado en el establecimiento de unas bases claras y definidas sobre las que debe estar fundamentado el concepto de smart port. Por tanto, se debe estudiar al mismo tiempo el estado actual de desarrollo en

el terreno de adaptación al ideal smart port, identificando y definiendo las principales tendencias actuales y futuras en implantación de medidas de este tipo, así como la previsión del enfoque del concepto a futuro.

#### 3.2. Fase 2: desarrollo del índice smart port

El siguiente paso es la definición y desarrollo de un índice global capaz de medir y comparar la adaptación de un puerto al concepto de smart port.

Este índice debe ser versátil y fácilmente aplicable al tiempo que permita no perder objetividad de los resultados.

Para ello, deben tener un papel clave el empleo de indicadores, variables de medición y reglas de puntuación claras y concisas, las cuales hagan referencia a datos y conceptos fácilmente medibles e identificables a la hora de evaluar un puerto. Por ello, se deben evitar los indicadores y variables que puedan hacer referencia a características muy específicas de un puerto en concreto, que pueden no ser comunes con otros puertos objeto de estudio, sin que ello suponga un decremento en el grado de adaptación al ideal smart port.

#### a) Definición de los indicadores y variables de medición

El objetivo es la elección de los indicadores, variables de medición y reglas de puntuación más adecuados para el caso de estudio, para lo cual se emplea la metodología de panel Delphi.

#### b) Ponderación de los indicadores

El objetivo es la determinación de la importancia de cada de los indicadores elegidos previamente, asignando un peso particular a cada uno de ellos. Debido a la gran importancia de este paso en los resultados finales, se divide el proceso en dos fases diferenciadas en el tiempo, buscando la obtención del resultado más acertado posible:

- Se determina el peso global de cada uno de los pilares fundamentales definidos tratar de controlar y limitar la importancia de cada pilar dentro del índice smart port. Así, se registra y limita el peso conjunto del total de indicadores asociado a cada pilar, tratando de prevenir que con la asignación de pesos particulares a los indicadores pueda distorsionarse la importancia de cada pilar dentro del estudio. En consecuencia, para ponderar la importancia global de estos pilares, no se atiende tanto a los indicadores asociados a cada pilar como a la importancia teórica que tenga en sí el pilar.
- Se obtiene la importancia de cada indicador dentro del pilar en el que está contenido, de forma que la suma total de los pesos de los indicadores de cada pilar será el peso total global asignado en la fase anterior.

#### c) Desarrollo del TOP10 de smart ports españoles

Una vez definido completamente el Indicador Smart Port, se aplica el mismo a los puertos considerados con objeto de obtener un TOP10 del sistema portuario español en función de su grado de adaptación al concepto smart port. Para ello:

- Determinación de los puertos españoles objeto de estudio  
El primer paso es la selección de aquellos puertos sobre los que se va a aplicar en indicador, de forma que los puertos seleccionados deben proporcionar en conjunto una visión completa y plural del desarrollo en materia smart ports del sistema portuario español.  
Los criterios de selección son, por un lado la importancia del puerto como punto clave de creación

de valor, tanto económico como social y, por otro, el grado de desarrollo e implantación de medidas Smart Port en el puerto.

- Aplicación del índice a los puertos españoles seleccionados

En esta fase se lleva a cabo una profunda labor de investigación y recogida de datos, en la cual se contrastarán las informaciones recogidas a través de varias fuentes, buscando la veracidad del conjunto de datos obtenidos.

El desarrollo de la asignación de una puntuación definitiva a cada uno de los indicadores de cada puerto objeto de estudio sobre el total global del indicador smart port se lleva a cabo siguiendo los dos pasos que se describen a continuación:

- Asignación de puntuaciones a cada indicador: tras la recogida de los datos requeridos por cada una de las variables de medición asociadas a cada indicador, se emplearán las reglas de medición definidas en el apartado siguiente para asignar una puntuación objetiva y justificada a cada uno de los indicadores de cada puerto.
- Aplicación de pesos a las puntuaciones de cada indicador: estando puntuados todos los indicadores de todos los puertos objeto de estudio, se procede a signar pesos a cada uno de los indicadores. Para ello, se multiplicará la puntuación de cada indicador por su peso asociado sobre el total del indicador Smart Port, obteniendo la contribución cuantitativa de un determinado indicador en un determinado puerto en la representación de su grado de adaptación al concepto Smart Port.

Las puntuaciones, una vez ponderadas asociadas a cada uno de los pilares, se suman para reflejar el grado de adaptación de un determinado pilar al ideal Smart Port.

- TOP10 de Smart Ports obtenido  
Conocida la puntuación global de cada pilar, se procede a realizar la suma global ponderada de todos los pilares definidos en el estudio para determinar la puntuación total del indicador Smart Port en cada puerto.

De esta manera se obtiene una clasificación final de los puertos españoles seleccionados en materia smart port, el sistema de puntuación utilizado se adapta a una puntuación total sobre 100 puntos, con objeto de que los resultados puedan ser más visuales y fácilmente analizados. A su vez, se adaptan del mismo modo las puntuaciones a un total de 100 puntos en cada uno de los pilares de análisis.

#### d) Grado de digitalización

Se hace necesario un estudio sobre el gardo de digitalización de los pueretos

### 4. DESARROLLO Y RESULTADOS DEL PROCESO

Siguiendo la metodología descrita, el desarrollo y definición de cada uno de los apartados o fases es la que se desarrolla a continuación.

- En el proceso de análisis se ha dividido la digitalización en varios temas, Conectividad, Monitorización, Conexiones y Tecnología Aplicada.
- Los proyectos incluidos en *conectividad* son aquellos que facilitan las comunicaciones entre los distintos agentes portuarios, con el objetivo de mejorar la eficiencia. Un ejemplo son las plataformas de intercambio de información.
- En *monitorización* se incluyen todos aquellos proyectos que tienen como objetivo monitorizar algún elemento, como por ejemplo la sensorización del río Guadalquivir para el acceso al puerto de Sevilla.
- En cuanto a las *conexiones*, los proyectos incluidos van destinados a la agilización de las conexiones terrestres con el puerto, haciendo mucho más eficientes dichas conexiones.
- Por último, se agrupan otros proyectos en los que se aplican *procesos de digitalización* a otras áreas del sistema portuario, por ejemplo seguridad, temas administrativos, etc.

### Fase 1: definición del escenario de trabajo

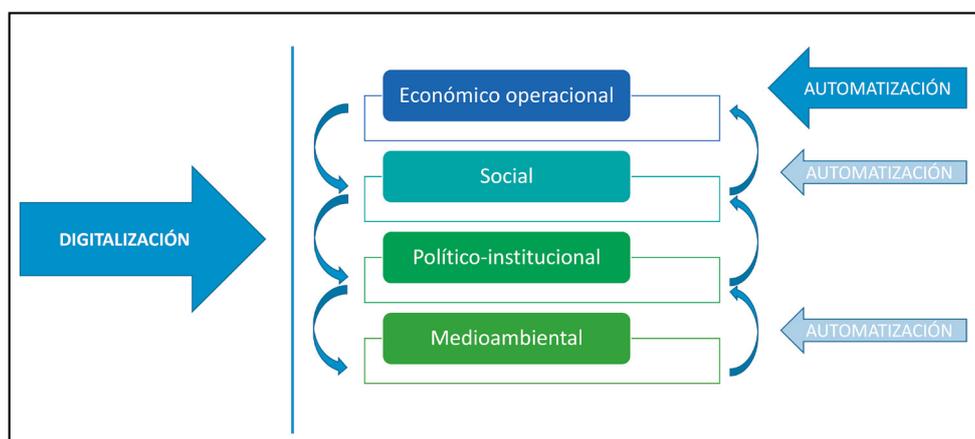
A partir del estudio de la contextualización de la gestión portuaria, así como de la definición de lo que se entiende por smart port, se procede a analizar y estructurar analíticamente el escenario de trabajo. En dicho análisis se empleó el estudio de las tendencias en implantación de medidas Smart Port llevado a cabo en España así como de las investigaciones y trabajos llevados a cabo por otros expertos en materia de smart ports.

Una vez evaluado el escenario de trabajo, el estudio se enfocó en el análisis de los smart port en los siguientes 4 pilares fundamentales:

- Económico Operacional
- Social
- Político institucional
- Medioambiental

Se optó por considerar la digitalización como un pilar transversal e intrínseco a todos ellos, estudiando los 4 enfoques anteriores fundamentándolos en la digitalización y en la aplicación de las nuevas tecnologías, de forma que se opta por incluir la digitalización en los 4 bloques anteriores. Esta decisión se fundamenta en el hecho de que si se considerara la digitalización como un pilar independiente, los otros 4 pilares tendrían únicamente las características clásicas de un estudio de sostenibilidad portuaria, cuando el objetivo final es el análisis del campo de los smart ports, el cual debe estar basado y enfocado en la digitalización y las nuevas tecnologías de la información y la comunicación.

Por otra parte, la automatización (figura 4) es otra de las principales bases técnicas y teóricas en las que se está apoyando actualmente el concepto de smart port. En este caso, la automatización afectará de manera más directa y decisiva al terreno económico operacional, ya que su principal aplicación es el incremento en la efectividad de las operaciones clásicas de tratamiento de mercancías. No obstante, también tendrá efectos a tener en cuenta en el pilar social, ya que la automatización de ciertos procesos portuarios supone una reducción de los riesgos laborales y la probabilidad de que se produzcan accidentes que afecten directamente a los trabajadores. A su vez, se debe tener en consideración la repercusión positiva de la automatización en el pilar medioambiental, ya que su aplicación a las operaciones portuarias incrementa la seguridad de las operaciones.



**Figura 4.** Pilares básicos de smart port incluyendo los conceptos de digitalización y automatización.

Sin embargo, a los efectos directos de la automatización sobre el pilar político e institucional tiene un peso menor que en los anteriores pilares, si bien no hay que olvidar que todo se encuentra íntimamente relacionado en el mundo portuario y, por tanto, la afección sobre el resto de pilares provoca ciertas repercusiones en el campo político institucional.

### Fase 2: desarrollo del índice smart port

Como se ha visto, los distintos indicadores que componen el índice global deben tener la capacidad de recoger

información particular haciéndola medible y evaluable a través de una serie de reglas y criterios que deberán ser fijos y comunes para todos los puertos.

La elección de indicadores y variables de medición se realizó mediante el empleo de la metodología DELPHI, de forma que tras completarse el proceso de consulta a panel de expertos, los indicadores y variables de medición seleccionados son los recogidos en la tabla 1.

**Tabla 1.** Indicadores y variables seleccionadas por el panel de expertos

ID	Indicador	Variables de medición	Justificación
E_1	Eficiencia de la línea de atraque	Toneladas de mercancías operadas ENTRE metros lineales de muelle Nº de TEUs operadas ENTRE metros lineales de muelle de contenedores	Se ha decidido medir la eficiencia en la línea de atraque en términos generales con la primera variable. Para reflejar la importancia que tienen las terminales de contenedores, tanto por la cuantía de inversiones necesarias como por su potencial, se ha decidido incorporar una variable particular para este tipo de mercancía
E_2	Uso de la capacidad de almacenamiento	Toneladas de mercancías operadas ENTRE superficie comercial/portuaria total Nº de TEUs operadas ENTRE superficie comercial/portuaria destinada a contenedores	Se ha decidido medir el aprovechamiento que se hace de la superficie del puerto y su almacenamiento a través de la relación mercancía superficie comercial/portuaria en la línea de atraque en términos generales con la primera variable. Para reflejar la importancia que tienen las terminales de contenedores, tanto por la cuantía de inversiones necesarias como por su potencial, se ha decidido incorporar una variable particular para este tipo de mercancía
E_3	Gestión digital integrada de las mercancías	Existencia de sistemas digitales abiertos de gestión de mercancías, tales como trazabilidad de mercancías, escalas integradas, declaración previa digital del peso verificado, declaración de mercancías y residuos. (RFID, OCR, GNSS, etc.)	Se valorará este indicador a través de la existencia o no en el puerto de los servicios digitales mencionados, a través de los cuales se podrán agilizar los trámites en cuanto a gestión de mercancías incluso antes de que el barco llegue al puerto
E_4	Capacidad de recepción de grandes buques	Dársenas de más de 14,5 metros de calado y muelle de más de 250 metros de atraque	Esta variable trata de ver la capacidad del puerto para recibir los buques más grandes existentes en la actualidad, en los que el calado llega a los 14 metros, así como los que puedan surgir en un futuro. En cuanto crecimiento futuro parece que los buques están creciendo más en longitud y ancho que en calado, por lo que se añade la condición de línea de atraque de más de 300 metros
E_5	Conectividad terrestre	Conexión con Vía de alta capacidad a menos de 1 Km y terminal ferropuertaria	Este indicador pretende reflejar los posibles problemas y pérdidas de efectividad en el tráfico de mercancías por carretera y ferrocarril a consecuencia de la ausencia de comunicaciones directas con el puerto
E_6	Conectividad aérea	Aeropuertos internacionales con más de 5M de viajeros/año a menos de 25 km de distancia	El objetivo de este indicador es medir las posibilidades de un puerto de establecerse como punto de inicio o fin de viaje para los usuarios de cruceros o tráfico de pasajeros en general, no tanto por su papel en el tráfico de mercancías, el cual en relación a un puerto es extremadamente reducido y muy especializado. A pesar de que desde un primer momento se ha planteado este indicador siendo conscientes de que las conexiones aéreas juegan un papel poco importante en los puertos, se ha decidido incluirlo ya que refleja un aspecto que puede potenciar ciertos aspectos y tráficos concretos de un puerto
E_7	Grado de Automatización sistemas mecánicos	Fase del proceso de automatización en la que se encuentra la terminal más automatizada del puerto, en relación al porcentaje de grúas de muelle, pórticos de patio y equipos para movimiento interno y externo de mercancías automatizados	A través de esta variable se quiere medir el estado global de automatización de los equipos mecánicos de movimiento de mercancías en una terminal, ya que actualmente la mayoría de las terminales no están completamente automatizadas, sino que están en proceso de automatización
E_8	Grado de intermodalidad	% de mercancías movidas por Ro-Ro ENTRE tráfico total de mercancías % de mercancías movidas por Ferrocarril ENTRE tráfico total de mercancías Existencia de Autopistas del Mar en activo en el puerto	A través de estas tres variables se intenta reflejar el nivel de intermodalidad efectivo en el tráfico de mercancías. Se añade este indicador a los anteriores de conectividad sin solaparse, ya que aunque en muchas ocasiones la existencia de accesos e infraestructuras adecuadas no es suficiente para que se desarrolle una intermodalidad efectiva
S_1	Seguridad de los trabajadores	Certificación OHSAS 18001 Índice de frecuencia de accidentes Índice de gravedad de accidentes Puerto catalogado como espacio cardioprotectado	Se medirán 4 variables para tratar de reflejar de manera completa el grado de seguridad de los trabajadores. A través de la certificación OHSAS 18001 se evaluará si se han implementado los sistemas de seguridad recomendados en dicha norma y a través de los índices de accidentes, se comprobarán los resultados efectivos de dicha política. La catalogación como espacio protegido se establece como un plus de seguridad en el puerto
S_2	Digitalización de la seguridad en los accesos	Digitalización y automatización de accesos, tales como sistemas de lectura automática de matrícula, conexión de hardware como cámaras, tecnología inalámbrica, sensores, etiquetas RFID y software para la recopilación de datos	La importancia de la digitalización y automatización de accesos, a parte del incremento de eficiencia derivado, es el incremento en la seguridad del puerto, punto de especial interés debido a sus características como puerta de entrada a un país de personas y mercancías. Los atentados del 11 S supusieron un punto de inflexión en las políticas de seguridad y la preocupación al respecto

Continúa en página siguiente.

ID	Indicador	Variables de medición	Justificación
S_3	Formación de los trabajadores	Promedio de horas de formación por trabajador al año, tanto dentro como fuera de la plantilla	A consecuencia del propio proceso de adaptación al concepto Smart Port y los procesos de automatización derivados, el puerto debe llevar a cabo un esfuerzo por facilitar la adaptación de los trabajadores a las nuevas realidades laborales, pasando de funciones más físicas a más técnicas y de supervisión
S_4	Inclusión laboral e igualdad en la plantilla	% de trabajadores mujeres sobre el total de trabajadores % de trabajadores menores de 30 años sobre el total de trabajadores % de trabajadores mayores de 50 años sobre el total de trabajadores % de trabajadores con un grado de discapacidad mayor del 33% sobre el total de trabajadores	El Smart Port debe tener una plantilla de trabajadores inclusiva y que cree valor social, tanto desde el punto de vista de la igualdad de género como en la inclusión de jóvenes y trabajadores de mayor edad en el puerto. A su vez se incluye la evaluación de la inclusión de trabajadores discapacitados a puestos que pueden desempeñar en función de su discapacidad
S_5	Accesibilidad al puerto usuarios discapacitados	Planes específicos de la autoridad portuaria para garantizar la accesibilidad de personas con algún grado de minusvalía	Este indicador medirá los esfuerzos realizados por el puerto en busca de garantizar que cualquier usuario o cliente del puerto pueda acceder a sus servicios y prestaciones sin ningún tipo de limitación debido a su minusvalía
S_6	Interacción digital con el cliente	Sistemas digitales de atención al cliente portuario y de recogida de quejas	Es importante que el puerto ofrezca plataformas digitales cómodas y sencillas de comunicación con los clientes, tanto para facilitar información sobre servicios como para recibir posibles quejas y sugerencias sobre los mismos. De esta manera se pueden detectar posibles fallos y desarrollar mejoras en el funcionamiento del puerto
S_7	Preocupación por la aceptación de la ciudadanía	Sistema de encuestas o consultas al ciudadano	La vida del ciudadano se ve profundamente afectada por la gestión que se lleve a cabo en el puerto, tanto positiva como negativamente. Por tanto el puerto debe tener siempre presente las posibles afecciones al ciudadano y ser conocedor de las opiniones y problemas que el puerto pueda causar al ciudadano
I_1	Transparencia en la gestión	Plataformas digitales con sistema de open data que ofrezcan Información transparente sobre procesos de concesiones, formularios online, anuncios, datos económicos del puerto y de inversiones	La gestión debe estar basada en la transparencia. La entrada de operadores privados en los puertos y el aumento de las concesiones debe apoyarse en procesos abiertos y en igualdad de condiciones, disponiendo de avisos, formularios estándar y reglas de los concursos. Del mismo modo se debe ofrecer información clara sobre la gestión económica y los gastos e inversiones realizadas por el puerto
I_2	Sistemas de gestión implantados	Certificación ISO 9001 y Certificación EFQM	Las certificaciones de calidad (tales como: ISO 9001 o EFQM) deben tomarse en consideración porque generalmente determinan una buena organización y gestión de la autoridad portuaria, centrada en los principios de eficacia y eficiencia
I_3	Sistemas de ayuda a la navegación	Nº de estaciones digitales de previsión de las condiciones meteorológicas y de servicio, sistemas de medición de oleaje, control de mareas, existencia de balizas	El puerto a nivel institución debe disponer de sistemas digitales propios de predicción de las condiciones climáticas y de navegación, así como disponer dispositivos de ayuda a la navegación como balizas. De esta manera se garantizan unas determinadas condiciones de operación a los barcos, ofreciéndoles seguridad y comodidad en las operaciones
I_4	Adecuación a modelos landlord	Superficie concesionada ENTRE superficie concesionable	La tendencia actual y a futuro en los modelos de gestión portuaria es el modelo landlord, habiendo sido demostrada su eficiencia sobre otros modelos. Un buen sistema de medición será ver la superficie que el puerto tiene en estado de concesión a operadores privados frente a la totalidad de superficie que sería posible ofrecer en concesión
I_5	Servicios completos de asistencia al barco	Aprovisionamiento, Bunkering, Reparación y Gestión de residuos MARPOL	Del mismo modo, el puerto a nivel institución debe garantizar y ofrecer todos los servicios necesarios para asistir a un buque. De esta manera aumenta el atractivo como punto de escala, evitando que la carencia de ciertas actividades de aprovisionamiento y asistencia hagan decidirse a los buques por otros puertos cercanos
I_6	Transmisión activa de conocimientos adquiridos	Pertenencia a ECOPORTS, ESPO, RETE y IAPH	El concepto Smart Port se basa en una competencia colaborativa, en la cual el sector portuario avanza y evoluciona de forma conjunta, compartiendo las nuevas técnicas y los resultados de las mismas. Para ello es importante la colaboración del puerto con instituciones y organizaciones técnicas nacionales e internacionales
I_7	Fomento de la eficiencia en operadores privados	Nº de operadores privados con bonificación de calidad de servicio	La imparable entrada del sector privado en la vida portuaria hace extremadamente importante que el puerto como institución trate de fomentar y premiar la buena gestión de dichos operadores. Una de las formas que se está utilizando es la bonificación a aquellas empresas que cumplan las exigencias de buenas prácticas y eficiencia
I_8	Digitalización procesos aduaneros	Ventanilla única aduanera (VUA)	Al puerto llegan mercancías procedentes de multitud de países extranjeros, las cuales tienen que pasar trámites burocráticos y de control institucional en las aduanas. A través del proyecto VUA, pionero en el seno de la UE, se conseguirá un ahorro de costes para los operadores estimado en 1.660 millones de euros

Continúa en página siguiente.

ID	Indicador	Variables de medición	Justificación
<b>M_1</b>	Calidad de las aguas	Implantación de medidas de calidad del agua: ROM 5.1, Mejoras red de saneamiento, Seguimiento a concesiones de permisos reglamentarios, Mejoras en la gestión de escorrentías	Las aguas del puerto pueden verse contaminadas por las operaciones llevadas a cabo, por ello hemos utilizado como variables de medición la adecuación a la normativa ambiental ROM 5.1 y las actuaciones mencionadas, las cuales se evalúan a su vez en las memorias de sostenibilidad portuaria de Puertos del Estado, facilitando y potenciando la veracidad de datos al respecto
<b>M_2</b>	Sistemas de gestión medioambiental	Gestión ambiental certificada por normas internacionales (EMAS III Y ISO 14001), miembro PERS	En cuanto a gestión ambiental, existe normativa nacional e internacional a la cual los puertos deben tratar de adaptarse como EMAS III y ISO 14001, ya que además de establecerse como imagen de referencia para el puerto, se encuentran en continua evolución y adaptación a las novedades que aparecen en el mundo portuario, siendo sinónimo de calidad. A su vez el PERS se basa en las recomendaciones de políticas de la ESPO y se establece como la única norma de gestión ambiental específica del sector portuario, su periodo de validez es de 2 años, por lo que obliga a los puertos a mantenerse al día
<b>M_3</b>	Gestión de residuos sostenible	Centros de transferencia, Seguimiento periódico a concesiones, Puntos limpios, Campañas de sensibilización	Los residuos generados tanto por los buques como por el propio puerto son una gran fuente de contaminación. Se han incluido las mencionadas actuaciones que garantizan una buena gestión de dichos residuos. Estas actuaciones se evalúan a su vez en las memorias de sostenibilidad portuaria de Puertos del Estado, facilitando y potenciando la veracidad de datos al respecto
<b>M_4</b>	Automatización de la evaluación de calidad del aire	Nº Instalaciones automatizadas de medición de partículas contaminantes en el aire ENTRE Ha de superficie de puerto	La actividad portuaria puede generar muchas partículas contaminantes expulsadas al aire. Los Smart Ports deben contar con instalaciones de medición automática de dichas partículas en funcionamiento continuo, avisando a tiempo real de cualquier fuente de contaminación fuera de los límites permitidos. Sustituyen así a las mediciones tradicionales, de carácter periódico y puntual llevadas a cabo por un operario y sistema de medición móvil
<b>M_5</b>	Contaminación acústica	Vigilancia e inspecciones periódicas, Mejora firme en viales, Limitaciones velocidad en viales puerto, Instalación de pantallas acústicas	Las operaciones llevadas a cabo en el puerto pueden ser foco de contaminación acústica con sus correspondientes afecciones al ciudadano. Para reducir dichas afecciones el puerto debe llevar a cabo las actuaciones mencionadas, las cuales se evalúan a su vez en las memorias de sostenibilidad portuaria de Puertos del Estado, facilitando y potenciando la veracidad de datos al respecto
<b>M_6</b>	Producción de energías renovables	Implantación de sistemas de producción de energía renovable: energía solar, energía eólica, energía mareomotriz	Una importante actuación que puede llevar a cabo un puerto en terreno medioambiental es la implantación de sistemas propios de generación de energía renovable. Para ello se evalúa la implantación de tres posibles fuentes de generación de energía sostenible en un puerto
<b>M_7</b>	Gestión del consumo de energía eléctrica	Consumo anual de electricidad ENTRE Unidad de superficie de servicio (kWh/m <sup>2</sup> )	Un puerto es un gran foco de consumo de energía, por ello la gestión del consumo que lleva a cabo un puerto es sumamente importante. Para evaluar dicha gestión se medirá la cantidad total de energía consumida entre superficie, que servirá como referencia para hacernos una idea de las políticas de ahorro de energía eléctrica llevadas a cabo por el puerto
<b>M_8</b>	Uso de combustibles	Implantación de vehículos portuarios sostenibles: eléctricos y de gas natural	Uno de los mayores consumos de combustibles en el puerto es debido a la flota de vehículos del puerto. Por ello evaluaremos la implantación de vehículos sostenibles en la flota del puerto, tales como vehículos eléctrico y de gas natural, los cuales usan combustibles sostenibles frente al gasoil y gasolina tradicionales
<b>M_9</b>	Gestión del consumo de agua	Consumo anual de agua ENTRE Unidad de superficie de servicio (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	El consumo de agua en un puerto puede ser de grandes proporciones. El agua como recurso natural debe ser gestionado de la manera óptima para reducir al máximo su consumo sin reducir las prestaciones del puerto. Para ello hemos utilizado como medidor la cantidad de agua consumida entre superficie de servicio, que servirá como referencia para hacernos una idea de las políticas de ahorro de energía eléctrica llevadas a cabo por el puerto

Una vez establecidos los indicadores y variables, se procede a la determinación de los sistemas y reglas de puntuación que se seguirán con cada indicador y variable, siendo las seleccionadas las siguientes:

- Cada indicador recibirá una puntuación comprendida entre el rango de valores de 0 y 4, siendo 0 el valor pésimo y 4 el valor óptimo, todo ello en términos de adaptación al concepto smart port.
- Cada indicador se ponderará en función de su importancia dentro de su papel a la hora de reflejar la adaptación de un puerto al concepto smart port. Así, se asigna un peso particular a cada indicador sobre el conjunto total de indicadores que debe corresponderse con el valor 100. La determinación de los pesos se establecerá, tras haber definido las reglas de puntuación definitivamente, buscando que la asignación de pesos se realice siendo los expertos conocedores de los detalles asociados a cada indicador y el modo en que está prevista su medición y puntuación.
- Las variables de medición escogidas para cada indicador deben ser fácilmente aplicables a los distintos puertos estudiados. Así, en el caso de que en algún puerto no presente características asociadas a dicho indicador o no exista información al respecto se asigna a dicho indicador la puntuación de 0.

Una vez definida e manera concreta y definitiva el conjunto de indicadores y normativa de puntuación asociada que definirá el índice final de smart port, el siguiente paso es asignar un peso particular a cada indicador sobre el conjunto total de indicadores.

La ponderación de los indicadores tiene una gran importancia dentro del estudio, pues marca de manera definitiva el resultado final del TOP10 de smart ports.

Así, para la asignación de pesos a cada uno de los 4 pilares propuestos se volvió a recurrir a la metodología DELPHI, siendo los resultados obtenidos los mostrados en la figura 5.

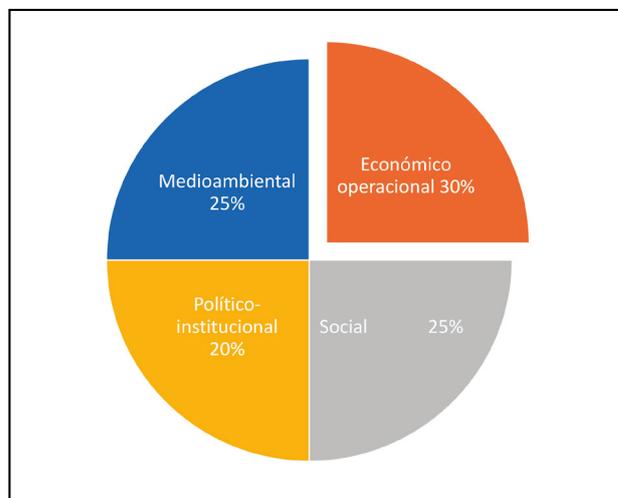


Figura 5. Pesos asignados a los cuatro pilares considerados.

Por otro lado, la asignación de pesos a cada indicador sobre el total del bloque se realizó asignando un peso particular a cada uno de los mismos mediante metodología DELPHI. Las opciones ofrecidas al panel de expertos en el cuestionario para puntuar el peso del indicador son las que se muestran en la figura 6.

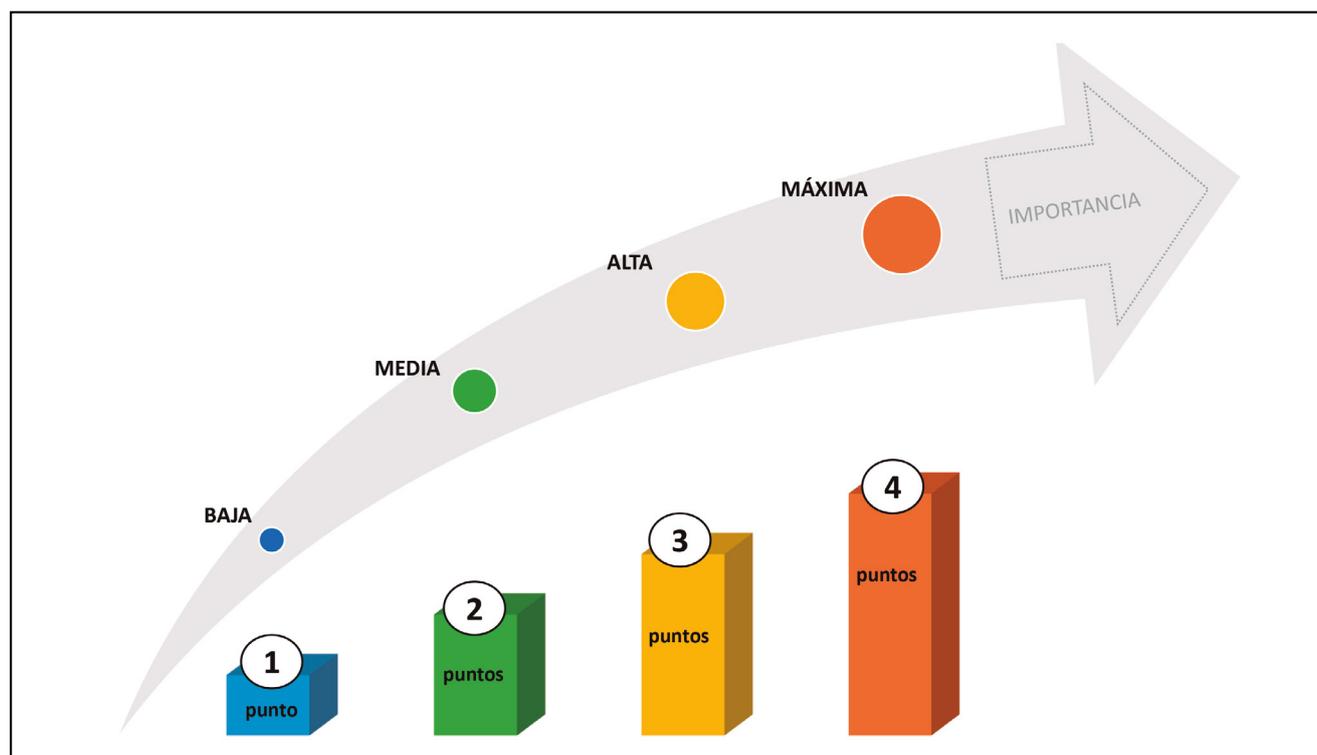


Figura 6. Rango de pesos para los indicadores sobre el total.

Los pesos finales asignados al conjunto de todos los indicadores que forman el índice final de smart port son los incluidos en la tabla 2.

**Tabla 2.** Pesos particulares de cada uno de los indicadores sobre el indicador global smart port

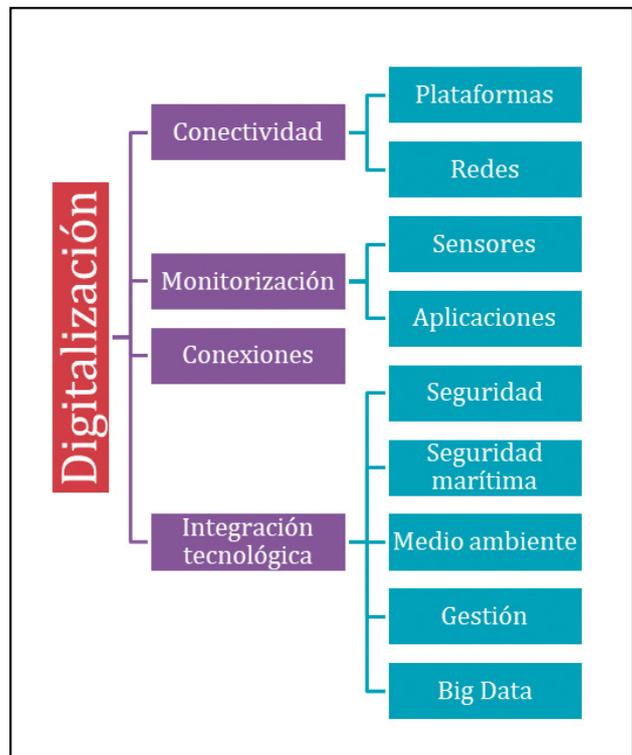
ID	Indicador	Peso (%)
<b>E_1</b>	Eficiencia de la línea de atraque	4,23
<b>E_2</b>	Uso de la capacidad de almacenamiento	4,13
<b>E_3</b>	Gestión digital integrada de las mercancías	4,47
<b>E_4</b>	Capacidad de recepción de grandes buques	3,17
<b>E_5</b>	Conectividad terrestre	3,65
<b>E_6</b>	Conectividad aérea	2,31
<b>E_7</b>	Grado de Automatización sistemas mecánicos	4,28
<b>E_8</b>	Grado de intermodalidad	3,75
Total económico operacional (%)		30
<b>S_1</b>	Seguridad de los trabajadores	4
<b>S_2</b>	Digitalización de la seguridad en los accesos	3,8
<b>S_3</b>	Formación de los trabajadores	3,29
<b>S_4</b>	Inclusión laboral e igualdad en la plantilla	3,39
<b>S_5</b>	Accesibilidad al puerto usuarios discapacitados	3,14
<b>S_6</b>	Interacción digital con el cliente	3,8
<b>S_7</b>	Preocupación por la aceptación de la ciudadanía	3,59
Total social (%)		25
<b>I_1</b>	Transparencia en la gestión	2,66
<b>I_2</b>	Sistemas de gestión implantados	2,5
<b>I_3</b>	Sistemas de ayuda a la navegación	2,41
<b>I_4</b>	Adecuación a modelos landlord	2,47
<b>I_5</b>	Servicios completos de asistencia al barco	2,25
<b>I_6</b>	Transmisión activa de conocimientos adquiridos	2,63
<b>I_7</b>	Fomento de la eficiencia en operadores privados	2,22
<b>I_8</b>	Digitalización procesos aduaneros	2,85
Total político-institucional (%)		20
<b>M_1</b>	Calidad de las aguas	3,01
<b>M_2</b>	Sistemas de gestión medioambiental	2,9
<b>M_3</b>	Gestión de residuos sostenible	3,04
<b>M_4</b>	Automatización de la evaluación de calidad del aire	2,97
<b>M_5</b>	Contaminación acústica	2,18
<b>M_6</b>	Producción de energías renovables	3,01
<b>M_7</b>	Gestión del consumo de energía eléctrica	2,66
<b>M_8</b>	Uso de combustibles	2,63
<b>M_9</b>	Gestión del consumo de agua	2,59
Total medioambiental (%)		25
Peso total (%)		100

El siguiente paso, tras haber definido completamente el índice final que determina en términos numéricos el grado de adaptación de un puerto al concepto smart port, para obtener un TOP10 de Smart Ports españoles.



**Figura 7.** Puertos del Sistema Portuario Español seleccionados para la obtención del TOP10 de Smart Ports españoles.

Para ello, como representativos del Sistema Portuario español se seleccionaron los puertos representados en la figura 7.



**Figura 8.** Variables asociadas al grado de digitalización.

Respecto al grado de digitalización las variables estudiadas son las que aparecen en la figura 8:

Para la aplicación del índice a los puertos españoles seleccionados y el grado de digitalización se llevó a cabo un minucioso trabajo de investigación y recogida de datos de cada uno de los puertos considerados, con objeto de disponer de información veraz y contrastada que permita asignar valores a las variables de medición que componen el Índice de Smart Ports

Así, a partir de la información disponible y tras realizar los cálculos necesarios, el TOP10 obtenido es el que se recoge en la tabla 3.

**Tabla 3.** TOP10 Global de Smart Ports con la aportación efectiva de cada pilar y grado de digitalización

TOP10 smart port	Puerto	Puntuación global total (de 0 a 400)	Total puntuación medioambiental (de 0 a 100)	Total puntuación económico operacional (de 0 a 120)	Total puntuación social (de 0 a 100)	Total puntuación político institucional (de 0 a 80)	Grado de digitalización (de 0 a 100)
1º	Valencia	299,47	67,73	88,83	82,24	60,67	70,26
2º	Barcelona	282,04	52,27	93,92	67,76	68,08	77,45
3º	Bilbao	244,13	50,64	72,01	61,39	60,09	45,55
4º	Vigo	234,37	48,57	54,78	77,83	53,19	65,36
5º	Algeciras	228,78	31,59	79,90	70,24	47,04	79,80
6º	Huelva	192,78	58,44	34,89	50,10	49,35	32,37
7º	Tarragona	189,63	57,01	32,73	60,27	39,62	63,98
8º	Gijón	177,57	44,88	42,20	58,10	32,39	63,21
9º	Cartagena	165,21	48,43	38,17	38,41	40,19	47,33
10º	Las Palmas	151,54	36,33	42,40	38,51	34,30	64,27

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez se dispone del TOP10 de Smart Ports españoles, se procede al análisis de los distintos aspectos de los resultados obtenidos, tratando de reflejar la situación de los puertos respecto a cada uno de los pilares y a su papel en el resultado global, al tiempo que se identifican aquellos aspectos que los puertos han desarrollado de manera óptima/pésima en términos de smart port (figura 9).

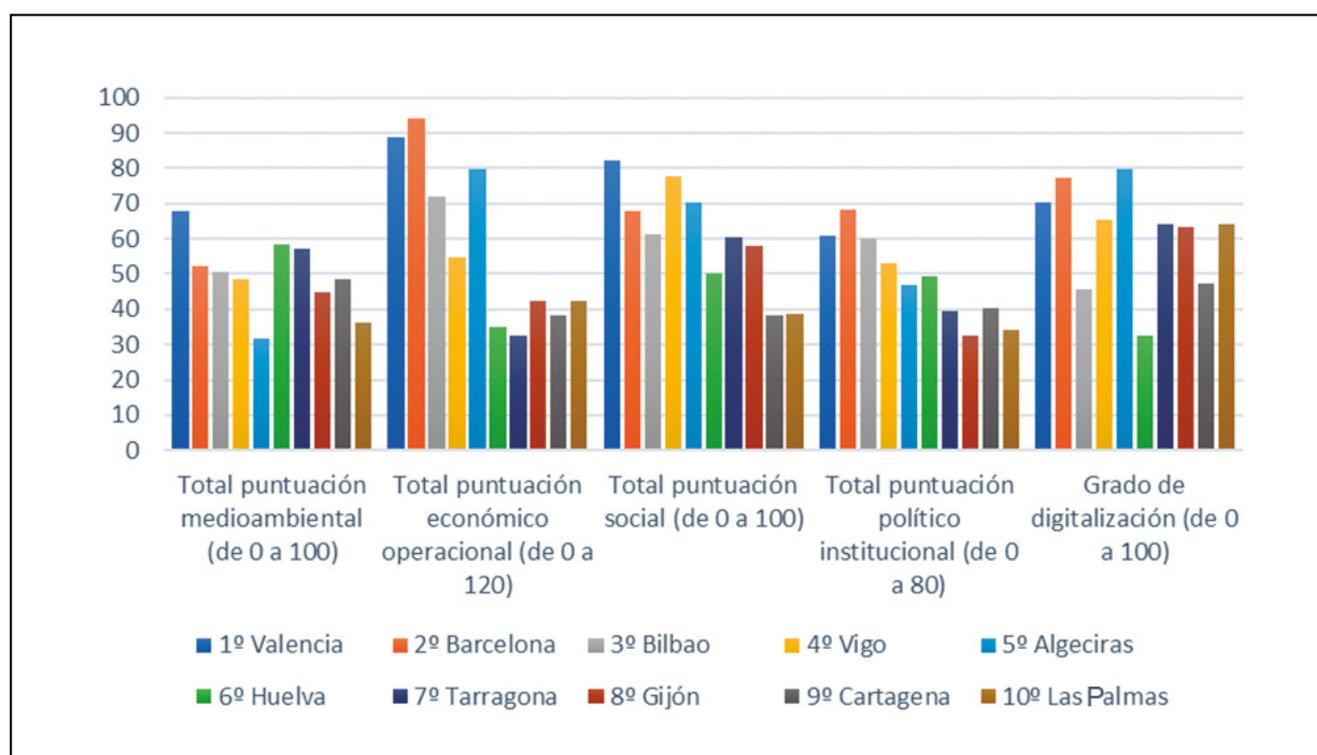
Un primer análisis, es el relativo a la posición que ocupa cada puerto respecto a cada uno de los 4 pilares estudiados, abalizando la relación con la posición que ocupa el puerto en términos globales.

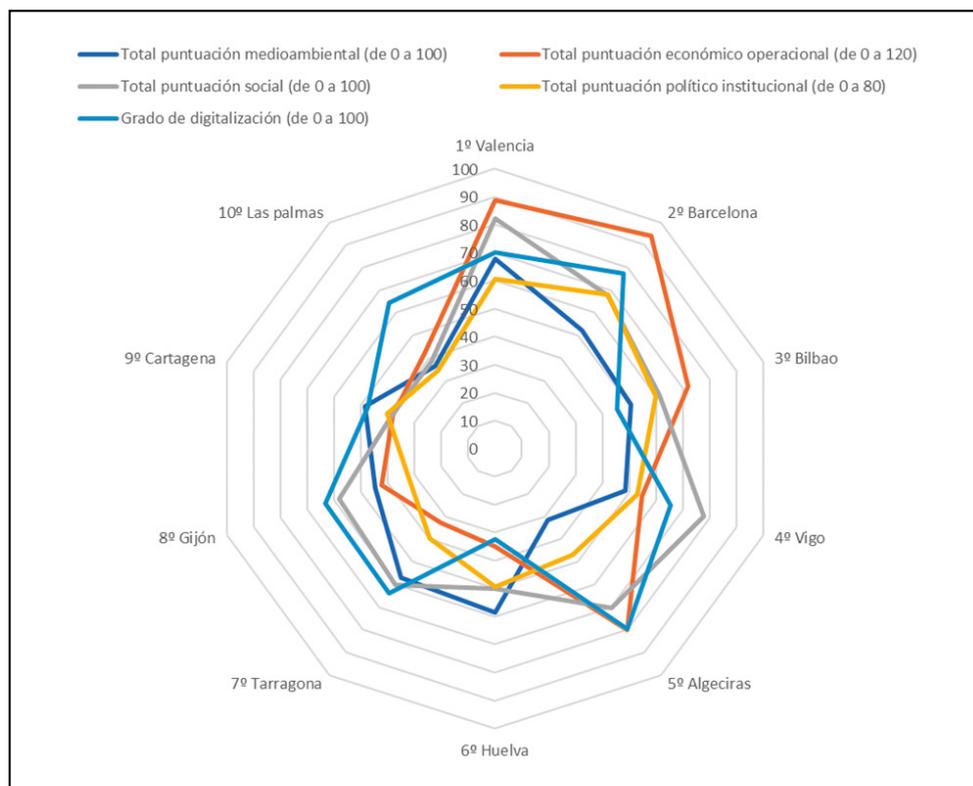
Así, se observa que en el aspecto económico operacional, los puertos de Barcelona y Valencia mantienen sus posiciones de 1º y 2º puesto, en este caso intercambiadas en cuanto a la posición global mientras el puerto de Algeciras

se sitúa en 3ª posición, siendo su puesto global el 5º. Esto indica que, a pesar de estar haciendo un buen papel en el aspecto económico operacional, su desempeño en los otros tres pilares no es óptimo le hace bajar varias posiciones en el TOP10 Global.

El resto de puertos evaluados mantienen posiciones semejantes a sus respectivos puestos globales, con la salvedad del puerto de Las Palmas, que ocupando la 6ª posición en términos económicos operacionales, ocupa la última en el TOP10 Global, a pesar de ser éste el pilar que mayor peso tiene sobre la puntuación global (30%). Esto lleva a la conclusión de que el puerto de Las Palmas se ha ido desarrollando a la par en este pilar, pero ha dejado en un segundo plano su desarrollo en los otros tres pilares importantes.

Por otro lado, destacan también los puertos de Huelva y Tarragona, en los cuales se produce la situación contraria a la del puerto de Las Palmas. Su situación en el terreno

**Figura 9.** P10 de los pilares y grado de digitalización por Autoridad Portuaria.



**Figura 10.** Representación radial por Autoridad Portuaria de los pilares y grado de digitalización.

económico operacional un punto muy negativo en su puntuación global, lo que lleva a la conclusión de que este sería un buen aspecto a tener en cuenta en su desarrollo a futuro para ganar puestos en el ranking global en términos smart port.

Respecto al pilar social, existen varias situaciones cuyo análisis puede resultar interesante. En primer lugar, destacar que los últimos puestos de la lista se asemejan bastante a los puestos ocupados en el ranking global, lo que no indica una especial preferencia por el desarrollo de este pilar frente al resto de pilares en estos puertos de la cola del ranking.

Sin embargo, destaca de manera negativa los puertos de Barcelona y de Bilbao, El primero de ellos ocupa la 2ª posición en el ranking global pero la 4ª posición en el pilar social, puerto de Bilbao ocupa la 3ª posición en el ranking global pero la 5ª en el pilar social. Esta situación lleva a la conclusión de que el desarrollo de este pilar puede ser interesante en ambos puertos.

Por el contrario, el puerto de Algeciras ocupa la 5ª posición en el ranking global pero la 3ª en el pilar social. Esto indica que, frente al resto de pilares, este puerto tiene un buen desarrollo y en orden de prioridad, puede haber otros pilares de más urgente evaluación.

En relación con el pilar político institucional, analizando el ranking particular, se observa que, a grandes rasgos, las posiciones en la mayoría de los puertos se mantienen bastante similares a sus relativas posiciones en el ranking global. Por tanto, se puede considerar que este pilar no tendría especial prioridad frente a otro en término de desarrollo Smart Port en la mayoría de los puertos analizados.

Como casos particulares, destaca el puerto de Gijón, el cual ocupa la 8ª posición en el ranking global pero la última en el pilar político institucional, lo que indica nuevamente que sería interesante para el puerto desarrollar sus

aspectos políticos institucionales en términos smart ports para situarlos a la par de sus otros pilares.

Otro caso particular, es el puerto de Cartagena, el cual ocupa la posición 9ª en el ranking global pero la 7ª en el pilar Político Institucional. Es lo que indica que su desarrollo en este pilar es mayor que en otros de los pilares de estudio, por lo que el pilar político institucional no se establece como una prioridad de desarrollo.

Finalmente, el análisis de las puntuaciones asociadas al pilar medioambiental y su relación con las posiciones del ranking global nos muestra de manera clara que de los 4 pilares de estudio, el medioambiental es en el que menos se corresponden las posiciones con las correspondientes al ranking global. Esto indica, a grandes rasgos, que es un pilar interesante a desarrollar en algunos puertos, mientras en otros se encuentra bastante desarrollado en relación al resto de pilares asociados, los cuales tendrían prioridad.

Los puertos de Valencia, Gijón y Las Palmas tienen un grado de adaptación medioambiental se corresponde bastante con su adaptación global como puerto, mientras que los puertos de Bilbao, Vigo, Algeciras y Barcelona, que ocupan posiciones superiores en el ranking global en comparación con sus posiciones en el pilar medioambiental, muestran que su adaptación en el pilar medioambiental es menor a la adaptación global del puerto. Por ello, se trata de un pilar en el que deberían poner especial interés en términos de desarrollo y adaptación, con el fin de que no se queden descolocados del resto de pilares asociados al puerto. Dentro de estos puertos mencionados destaca especialmente el caso del puerto de Algeciras, el cual ocupa la 5ª posición en el ranking global mientras está en la última posición en términos medioambientales.

Por el contrario, aparecen los puertos de Huelva, Tarragona y Cartagena, que ocupan posiciones inferiores en

el ranking global en relación al puesto que ocupan en términos medioambientales, muestran su adaptación al concepto Smart Port en el aspecto medioambiental es similar o incluso mayor en relación a la adaptación del resto de pilares de estos puertos, por lo que su desarrollo no tiene una prioridad especial frente al resto de pilares asociados al puerto.

Considerando los resultados de la tabla 4, el puerto de Valencia se posiciona entre los tres primeros puestos del TOP10 al considerar cualquiera de las categorías, y el puerto de Barcelona entre los cuatro primeros. Sin embargo, al

considerar el puerto de Algeciras se observa que, siendo puntero en digitalización, en los ámbitos económico y social se sitúa en los últimos puestos en las dos categorías restantes (medioambiental e institucional).

Se aprecia del análisis de la tabla 4 que los puertos se encuentran en posiciones más homogéneas en referencia a los pilares económico, social y político-institucional, sin embargo para la componente medioambiental o grado de digitalización las posiciones no son afines. Solo en los casos del puerto de Gijón y el puerto de Cartagena las posiciones coinciden para los cinco bloques.

**Tabla 4.** TOP10 Global de Smart Ports de cada pilar y grado de digitalización por jerarquía de colores

TOP10 smart port	Puerto	Total puntuación medioambiental (de 0 a 100)	Total puntuación económico operacional (de 0 a 120)	Total puntuación social (de 0 a 100)	Total puntuación político institucional (de 0 a 80)	Ranking de digitalización (de 0 a 100)
1º	Valencia	1	2	1	2	3
2º	Barcelona	4	1	4	1	2
3º	Bilbao	5	4	5	3	9
4º	Vigo	6	5	2	4	4
5º	Algeciras	10	3	3	6	1
6º	Huelva	2	9	8	5	10
7º	Tarragona	3	10	6	8	6
8º	Gijón	8	7	7	10	7
9º	Cartagena	7	8	10	7	8
10º	Las Palmas	9	6	9	9	5

## 6. CONCLUSIONES

El estudio realizado permite obtener sobre el grado de adaptación al concepto conclusiones smart port del sistema portuario español, tomando como referencia la evaluación de los puertos más relevantes, tanto por su creación de valor social y económico asociado, como por estar a la cabeza en la implantación de medidas Smart Port en España.

En primer lugar y a través del análisis del concepto Smart Port y sus tendencias actuales y futuras, se ha determinado que el desarrollo de un puerto hacia este ideal debe fundamentarse en la digitalización y empleo de las TIC y en la automatización de procesos portuarios. Ambos deben ser gradualmente implantados, no sólo en la dimensión económica operacional como pudiera parecer, sino que también debe hacerse en la dimensión social, política institucional y medioambiental, haciendo progresar al puerto hacia un modelo sostenible y orientado tanto a la eficiencia portuaria como a la creación de valor social.

En segundo lugar, tras el estudio se dispone de una visión crítica del desarrollo smart port en cada una de las cuatro dimensiones anteriormente mencionadas, cuyo desarrollo debe apoyarse en la digitalización y la automatización. Al analizar la información y datos recogidos de los puertos objeto de estudio, así como a través de la puntuación asociada a los indicadores de digitalización y automatización, se llega a la conclusión de que el grado de desarrollo de los puertos en estos 2 aspectos es muy baja, salvo la excepción de los puertos de Valencia y Barcelona, así como los de Bilbao y Vigo, en menor escala. Pese a que estos puertos han invertido e implantado ciertas medidas

de digitalización y automatización, el grado de desarrollo es baja en comparación con otros puertos a nivel internacional, como Rotterdam o Amberes, disponiendo únicamente de terminales semi-automatizadas y de sistemas digitalizados en fase de prueba y no plenamente funcionales y eficientes.

Asimismo, es importante señalar que debido al limitado desarrollo de los puertos españoles en digitalización y automatización, se ha puntuado y tenido en cuenta aquellos sistemas que se encuentran en pruebas o que aún no son plenamente funcionales. No obstante, para la aplicación futura del indicador global smart port obtenido, deberá exigirse a dichos sistemas que están plenamente implantados y en funcionamiento efectivo.

En cuanto a los resultados particulares en cada una de las 4 dimensiones o pilares analizados, se observa que en el terreno económico operativo y medioambiental unas puntuaciones obtenidas son notablemente más bajas que las dimensiones político-institucional y social, en términos generales de todos. No obstante, existen ciertos casos particulares de puertos en los estas dimensiones han obtenido mejor puntuación que las más dimensiones que generalmente están más adaptadas (económico operacional y medioambiental). Estos puertos coinciden con los puertos situados en los primeros puestos del ranking, por lo que se concluye que, en general, para avanzar puestos y lograr un mayor grado de adaptación al concepto smart port, los puertos españoles deben invertir más en el desarrollo de las dimensiones operacionales y medioambientales, apoyándose en los procesos de digitalización y automatización.

La principal limitación al desarrollo en términos Smart Port en estas dos dimensiones (económico operacional y medioambiental) se debe a que la cuantía de las inversiones en ambas suele ser superior a la de las inversiones en los otros dos pilares.

Por tanto, se observa que el sistema portuario español debe llevar a cabo una gran inversión en procesos de digitalización y automatización si no quiere ver reducida su eficiencia y garantías de crecimiento a futuro con respecto a otros puertos internacionales, y no quiere enfrentarse a posibles sanciones y restricciones derivadas de las normativas internacionales. Para ello, se debe proceder con la mayor rapidez posible a la implantación efectiva de sistemas digitales y automatizados en la operativa portuaria.

Del análisis realizado cabe destacar que son los puertos más importantes los que están liderando la transformación digital, Barcelona, Algeciras y Valencia, llegando a la semiautomatización en algunos aspectos, aunque le siguen puertos como Sevilla o Almería en la sensorización de los canales de navegación, este último también destaca en seguridad marítima, al igual que Gijón.

Prácticamente todas las Autoridades Portuarias tienen una plataforma de intercambio de información para la agilización y mejora de la eficiencia de distintos procesos.

A partir del desarrollo de dichas plataformas se han ido desarrollando otros elementos como control de accesos con lectura de matrículas, empleo de drones para el análisis del dominio público, digitalización de archivos, sensorización para la recogida de datos hidrodinámicos y fisicoquímicos, entre otros.

Las claves para obtener la máxima eficiencia a través de la digitalización van a sustentarse en un cambio cultural, una nueva visión del sector portuario en especial frente a la innovación:

- Una apuesta real por la sostenibilidad portuaria
- Gobernanza y relaciones público-privadas, sociales y laborales nuevas
- Reconfiguración del mapa de puertos, cambios en el TOP mundial e integración logística e interacción de la geopolítica
- Progreso técnico y automatización
- Nuevo comercio y actividad portuaria

## 7. REFERENCIAS

- Acciaro, M., Renken, K., y El Khadiri, N. (2020). Technological Change and Logistics Development in European Ports. *European Port Cities in Transition* (pp. 73-88). Springer, Cham.
- Alavi, A., Nguyen, H.O., Fei, J., y Sayareh, J. (2018). Port logistics integration: challenges and approaches. *International Journal of Supply Chain Management*, 7(6): pp. 389-402.
- Attia, T.M. (2016). Importance of communication and information technology and its applications in the development and integration of performance in seaports. *Renewable Energy and Sustainable Development*, 2(2): pp. 137-146.
- Belfkih, A., Duvallat, C., y Sadeg, B. (2017). The Internet of Things for Smart ports: Application to the Port of Le Havre. *International Conference on Intelligent Platform for Smart port-IPaS-Port 2017*.
- Bisogno, M., Nota, G., Saccomanno, A., y Tommasetti, A. (2015). Improving the efficiency of Port Community Systems through integrated information flows of logistic processes. *The International Journal of Digital Accounting Research*, 15, pp. 1-31.
- Carlan, V., Sys, C., y Vanelslander, T. (2016). How port community systems can contribute to port competitiveness: Developing a cost-benefit framework. *Research in transportation business & management*, 19, pp. 51-64.
- Cho, G.S. (2018). A Study on Establishment of Smart Logistics Center based on Logistics 4.0. *Journal of Multimedia Information System*, 5(4): pp. 265-272. <https://doi.org/10.9717/JMIS.2018.5.4.265>
- Esteban\_Infantas, M.M., González, N., y Camarero, A. (2019). Estrategias empresariales de las navieras ante el nuevo escenario de Alianzas Marítimas. *INGE CUC*, 15(2). <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.2.2019.09>
- Filip, N., Popa, C., y Gavra, R. (2018). The quality of port services—an important factor in port competition. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, 21(1): pp. 1-6.
- Fobbe, L., Lozano, R., y Carpenter, A. (2019). Assessing the coverage of sustainability reports: An analysis of sustainability in seaports. SPONSORS, 609. *The 19th European Roundtable for Sustainable Consumption and Production (ERSCP)-Circular Europe for Sustainability: Design, Production and Consumption, Barcelona, 15-18 October, 2019*.
- Fruth, M., y Teuteberg, F. (2017). Digitization in maritime logistics—What is there and what is missing? *Cogent Business & Management*, 4(1), 1411066. <https://doi.org/10.1080/23311975.2017.1411066>
- González-Cancelas, N., Molina Serrano, B., y Soler-Flores, F. (2019). Seaport sustainable: use of artificial intelligence to evaluate liquid natural gas utilization in short sea shipping. *Transportation Journal*, 58(3): pp. 197-221.
- Heilig, L., Lalla-Ruiz, E., y Voß, S. (2017). Digital transformation in maritime ports: analysis and a game theoretic framework. *Netnomics: Economic Research and Electronic Networking*, 18(2-3): pp. 227-254.
- Heilig, L., y Voß, S. (2016). A holistic framework for security and privacy management in cloud-based smart ports. *The 15th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries-COMPIT '16, Lecce Italy*.
- Heilig, L., y Voß, S. (2017). Information systems in seaports: a categorization and overview. *Information Technology and Management*, 18(3): pp. 179-201.
- Ilin, I., Jahn, C., Weigell, J., y Kalyazina, S. (2019). Digital Technology Implementation for Smart City and Smart port Cooperation. *Proceedings of the International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019)*. Atlantis Press. <https://dx.doi.org/10.2991/icdtli-19.2019.87>
- Iranzo, C., y Cabrer Capó, M. (2010). Dispositivo de localización de contenedores Proyecto Final de Carrera. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña-BarcelonaTech.
- Jabbar, K., y Bjørn, P. (2018). Infrastructural grind: Introducing blockchain technology in the shipping domain. *Proceedings of the 2018 ACM Conference on Supporting Groupwork* (pp. 297-308). <https://doi.org/10.1145/3148330.3148345>
- Jardas, M., Dundović, Č., Gulić, M., y Ivanić, K. (2018). The Role of Internet of Things on the Development of Ports as a Holder in the Supply Chain. *Pomorski zbornik*, 54(1): pp. 61-73.
- Jović, M., Kavran, N., Aksentijević, S., y Tijan, E. (2019). The Transition of Croatian Seaports into Smart ports. *The 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (pp. 1386-1390). IEEE. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2019.8757111>

- Kang, D., y Kim, S. (2017). Conceptual model development of sustainability practices: The case of port operations for collaboration and governance. *Sustainability*, 9(12): p. 2333. <https://doi.org/10.3390/su9122333>
- Klaffke, H., Mühleisen, M., Petersen, C., y Timm-Giel, A. (2017). *The impact of SMART Technology on skills demand*. Hamburgo: Studie in Zusammenarbeit mit der Hamburg Port Authority und Cisco Systems. <https://doi.org/10.15480/882.1339>
- Liting, W.A.N.G. (2018). An Overview of the Application of RFID in Smart ports. *Logistics Engineering and Management*, (9), 6.
- Lo, S.W., Wu, J.H., Chen, L.C., Tseng, C.H., Lin, F.P., y Hsu, C.H. (2016). Uncertainty comparison of visual sensing in adverse weather conditions. *Sensors*, 16(7): p. 1125. <https://doi.org/10.3390/s16071125>
- Molavi, A., Lim, G.J., y Race, B. (2019). A framework for building a smart port and smart port index. *International Journal of Sustainable Transportation*, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1610919>
- Monios, J., Wilmsmeier, G., y Ng, A.K. (2019). Port system evolution—the emergence of second-tier hubs. *Maritime Policy & Management*, 46(1): pp. 61-73. <https://doi.org/10.1080/03088839.2018.1468937>
- Narimane, B., Duvallat, C., y Bertelle, C. (2017). Using Blockchain to Secure Transactions for Logistics Networks in Smart ports. *Workshop on Advance in NonLinear Complex Systems and Applications - WANCSA 2017, Le Havre, France* (pp. 23-25).
- Notteboom, T., y Vitellaro, F. (2019). The impact of innovation on dock labour: evidence from European ports. *Impresa Progetto Electronic Journal of Management*, (3).
- Orive, A.C., Santiago, J.I.P., Corral, M.M. E.I., y González-Cancelas, N. (2020). Strategic Analysis of the Automation of Container Port Terminals through BOT (Business Observation Tool). *Logistics*, 4(1): p. 3. <https://doi.org/10.3390/logistics4010003>
- Port, M.S. (2016). *Action Plan towards the Smart Port Concept in the Mediterranean Area*.
- Rajabi, A., Saryazdi, A.K., Belfkih, A., y Duvallat, C. (2018). Towards Smart Port: An Application of AIS Data. *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)* (pp. 1414-1421).
- Rajput, S., y Singh, S. P. (2018). Current trends in Industry 4.0 and implications in container supply chain management: a key toward make in India. *Digital India* (pp. 209-224). Springer, Cham.
- Schipper, C.A., Vreugdenhil, H., y De Jong, M.P.C. (2017). A sustainability assessment of ports and port-city plans: Comparing ambitions with achievements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, pp. 84-111.
- Serrano, B.M., González-Cancelas, N., Soler-Flores, F., y Camarero-Orive, A. (2017). Looking for an efficient port planning: analysis of Spanish Port System through artificial intelligence. *World Scientific News*, 83, pp. 75-91.
- Song, D.W., y Cullinane, K. (2017). *The productive efficiency of container terminals: An application to Korea and the UK*. London/New York: Routledge.
- Tan-Mullins, M., Cheshmehzangi, A., Chien, S., y Xie, L. (2017). *Smart-eco cities in China: Trends and city profiles 2016*. Exeter: University of Exeter (SMART-ECO Project).
- Yang, Y., Zhong, M., Yao, H., Yu, F., Fu, X., y Postolache, O. (2018). Internet of things for smart ports: Technologies and challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21(1), pp. 34-43.
- Zhang, X., y Roe, M. (2019). Maritime Governance, Security Measures and Port Competition in the EU. In *Maritime Container Port Security* (pp. 241-260). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03825-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03825-0_9)