

MANUAL DE PUERTOS INTELIGENTES

ESTRATEGIA Y HOJA DE RUTA

Copyright © 2020 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercialSinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



AUTOR

Fundación Valenciaport

COORDINADORA

Krista Lucenti

TABLA DE CONTENIDO

1 • INTRODUCCIÓN	7
2 • MARCO CONCEPTUAL: EL PUERTO INTELIGENTE	8
2.1 Niveles de transformación hacia un puerto inteligente	9
2.2 La agenda de digitalización en el puerto	12
2.2.1 Definición de la visión del puerto inteligente	13
2.2.2 Creación de valor a través del puerto inteligente	14
2.3 Gobernanza y Transformación Digital	15
2.4 Impulsores económicos y sociales de las soluciones portuarias inteligentes	17
2.4.1 Cambios climáticos	17
2.4.2 Cambios energéticos	20
2.4.3 Economía Circular	21
2.5 Barreras por superar en el desarrollo del puerto inteligente	23
2.6 El surgimiento de ecosistemas de innovación en puertos	25
3 • PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA	27
3.1 El proceso de planificación estratégica	28
3.2 Herramientas de apoyo a la planificación estratégica	29
3.3 La arquitectura empresarial	32
4 • INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	33
4.1 Productos y Servicios Inteligentes	34
4.2 Macrotendencias y tecnologías para el puerto inteligente	35
4.2.1 Internet de las Cosas Industrial (IIoT)	37
4.2.2 Tecnologías de Acceso Fijo e Inalámbrico	38
4.2.3 Automatización	39
4.2.4 Big Data	40
4.2.5 Almacenamiento Virtual (AV)	41
4.2.6 Blockchain	42
4.2.7 Inteligencia Artificial (AI) y Machine Learning (ML)	42
4.2.8 Realidad Virtual y Aumentada (VR y AR)	42
4.2.9 Impresión 3D y Fabricación Aditiva (FA)	43
4.2.10 Configuración y Gestión de las Tecnologías de la Información	43
4.3 Aplicaciones inteligentes en puertos	43
5 • HOJA DE RUTA	47
5.1 Diagnóstico de Puerto Inteligente	48
5.2 Elección de las soluciones y proyectos viables	53
5.2.1 Metodología	53
5.3 Plan de implementación a corto, medio y largo plazo	55
5.3.1 Modelo de gestión	55
5.3.2 Modelo organizativo	56
5.3.3 Desarrollo del roadmap del plan	56
5.3.4 Definiendo objetivos e indicadores para seguimiento del plan	57
5.3.5 Actualización del plan	57
REFERENCIAS	58

ACRÓNIMOS

3D	<i>Tecnología en 3 Dimensiones</i>
4G	<i>Cuarta Generación de Tecnología Móvil</i>
5G	<i>Quinta Generación de Tecnología Móvil</i>
ADSL	<i>Línea de Suscripción Digital Asimétrica</i>
AGS	<i>Sistemas de Detección en Puerta</i>
AI/IA	<i>Inteligencia Artificial</i>
AIS	<i>Sistema de Identificación Automática</i>
B2G	<i>Comunicación Negocio a Gobierno</i>
BI	<i>Inteligencia de Negocio</i>
BSC	<i>Tarjeta de Resultados Balanceada</i>
CCTV	<i>Circuito Cerrado de Televisión</i>
CEPAL	<i>Comisión Económica para América Latina y el Caribe</i>
CMI	<i>Cuadro de Mando Integral</i>
CMS	<i>Sistema de Gestión del Contenido</i>
CO2	<i>Dióxido de Carbono</i>
DLT	<i>Tecnologías de Registros Distribuidos</i>
EAI	<i>Interfaz de Aplicaciones Empresariales</i>
ECA	<i>Áreas de Control de la Emisión</i>
ERP	<i>Planificación de Recursos Empresariales</i>
FA	<i>Fabricación Aditiva</i>
G2G	<i>Comunicación Gobierno a Gobierno</i>
GIS	<i>Sistema de Identificación y Posicionamiento</i>
HPA	<i>Autoridad Portuaria de Hamburgo</i>
HRMS	<i>Sistema de Gestión de Recursos Humanos</i>
IIoT	<i>Internet de las Cosas Industrial</i>
IoT	<i>Internet de las Cosas</i>
IPCSA	<i>Asociación Internacional del PCSA</i>
ITS	<i>Sistema de Transporte Inteligente</i>
KPI	<i>Indicador de Rendimiento</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTE-M	<i>Long Term Evolution Categoría M1</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
MPA	<i>Autoridad Marítima y Portuaria de Singapur</i>

MPOS	<i>Sistema de Operación Multipropósito</i>
NB-IoT	<i>Narrowband IoT</i>
NFC	<i>Comunicaciones de Campo Cercano</i>
NVOCC	<i>Consolidador de Carga</i>
OCDE	<i>Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos</i>
PCS	<i>Sistema de Comunidad Portuaria</i>
PDA	<i>Asistente Digital Personal</i>
PDS	<i>Sistema de Detección y Posicionamiento</i>
PMIS	<i>Sistema de Gestión Portuaria</i>
PSA	<i>Detección de Presencia en Situaciones Físicas</i>
SCADA	<i>Sistema de Supervisión del Control y Adquisición de Datos</i>
SMI	<i>Instituto Marítimo de Singapur</i>
SOA	<i>Arquitectura Orientada a Servicios</i>
TETRA	<i>Sistema de Comunicaciones Radio Terrestres y Truncadas</i>
TI	<i>Tecnologías de la Información</i>
TIC	<i>Tecnologías de la Información y la Comunicación</i>
TOS	<i>Sistema de Operación en las Terminales</i>
VAR	<i>Realidad Virtual y Aumentada</i>
VTS	<i>Sistema de Gestión del Tráfico Marítimo</i>
VU	<i>Ventanilla Única</i>
VUCE	<i>Ventanilla Única de Comercio Exterior</i>
WAN	<i>Red de Área Extendida</i>

1 • INTRODUCCIÓN

El Manual de Puertos Inteligentes es una herramienta creada para facilitar la monitorización y evaluación del proceso de transformación de los emplazamientos portuarios en puertos inteligentes por parte de las Autoridades Portuarias y los Operadores de Terminales. El manual, el cual basa su contenido en la identificación de buenas prácticas internacionales para la implementación de puertos inteligentes, enumera distintas iniciativas de puertos inteligentes e incluye un listado de indicadores cuantitativos y cualitativos que pueden ser medidos de cara al seguimiento y valoración del desarrollo alcanzado. El Manual integra una visión holística del ecosistema legal y tecnológico necesario para crear puertos inteligentes.

El Manual de Puertos Inteligentes se estructura en cinco white papers o informes, dentro de los cuales, cuatro son diseñados para introducir y desarrollar el conocimiento de la temática a tratar, y uno para realizar la implementación de las soluciones propuestas en los puertos:

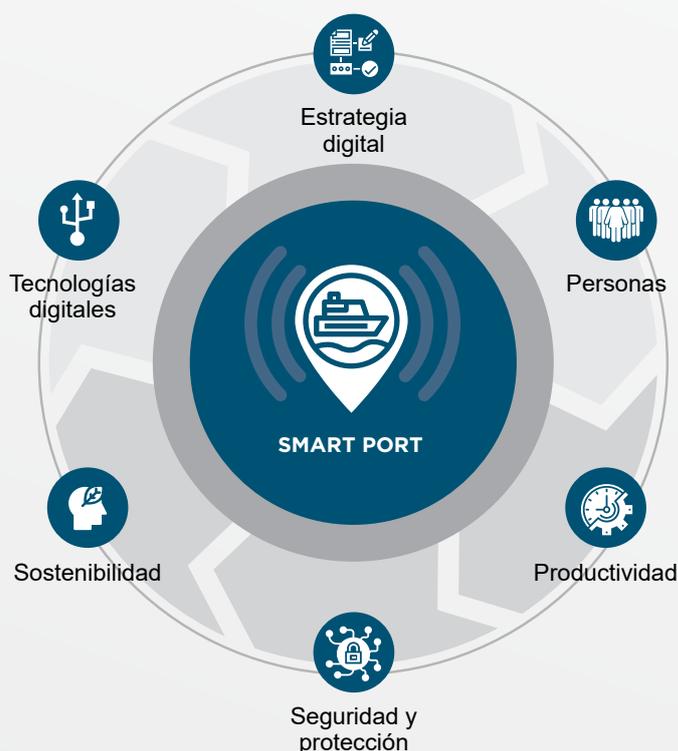
- **Informe 1** - “Marco Conceptual”: Introducción y Conceptualización del Puerto Inteligente.
- **Informe 2** – “Estrategia hacia el Puerto Inteligente”: Definición de la estrategia para el desarrollo del Puerto Inteligente.
- **Informe 3** – “Macrotendencias e Innovación Tecnológica”: Describe los ámbitos de innovación y las soluciones tecnológicas a implementar en los Puertos Inteligentes.
- **Informe 4** - “Retos de los Gobiernos y el Sector Privado hacia los Puertos Inteligentes”: Aborda los retos y dificultades que los gobiernos y las empresas portuarias pueden encontrar al aplicar el concepto de Puerto Inteligente.
- **Informe 5** - “Hoja de Ruta”: Presenta el proceso necesario para conducir a los puertos hacia el concepto de Puerto Inteligente o Smart Port.

Complementariamente, se ha incluido el presente “Informe ejecutivo”, el cual da una visión agregada y resumida del contenido de los cinco informes, proporcionando así un enfoque multimodal del proceso de transformación de los emplazamientos portuarios en puertos inteligentes.

2 • MARCO CONCEPTUAL: PUERTO INTELIGENTE

Un puerto inteligente (Smart Port) es un concepto ligado a la Industria 4.0¹ o Cuarta Revolución Industrial en el que el puerto utiliza las tecnologías emergentes, tales como el Internet de las Cosas (Internet of Things), grandes datos (Big Data), blockchain o tecnologías de registro distribuido (Distributed Ledger Technologies o blockchain), técnicas de aprendizaje automático e inteligencia artificial (machine learning, artificial intelligence) y otros métodos, para la mejora de la competitividad económica y la eficiencia del puerto, la sostenibilidad social, ambiental y energética de las operaciones, así como la seguridad y la protección de las instalaciones. En un puerto inteligente se consigue transformar la cadena de valor del puerto en un ecosistema abierto e interconectado en todos sus ámbitos (Figura 1).

FIGURA 1 • COMPONENTES DEL SMART PORT



La transformación digital del puerto para convertirse en un puerto inteligente requiere, no solo de un uso de las tecnologías digitales, sino también de una adecuada estrategia digital y de una transformación de las personas. No existirá un Smart Port sin Smart People. En este sentido se necesitará un importante componente de capacitación, gestión del cambio, transformación y adquisición de las habilidades personales para dar una respuesta apropiada a los nuevos retos de un puerto inteligente.

**“No existe un Smart Port
sin Smart People”**

*Miguel Garín. Director desarrollo internacional.
Fundación Valenciaport*

Convertirse en "inteligente" significa volverse más atractivo y competitivo tanto para los clientes y usuarios como para el entorno donde se desarrolla. La inteligencia artificial, el Internet de las Cosas, el Big Data y otras tecnologías permiten que los puertos se vuelvan más inteligentes en términos de flujo, situación o gestión de clientes, facilitando así la toma de decisiones y la mejora de procesos de cara a una operación más eficiente, limpia y respetuosa. Sin embargo, estas transformaciones todavía están en su infancia.

1. Concepto ligado a la aparición de una cuarta etapa de evolución técnico-económica de la humanidad. También definida como Cuarta Revolución Industrial.

Por otro lado, un puerto inteligente no debe considerarse una mera aplicación de tecnología digital. La inteligencia de un puerto también se basa en su capacidad para desarrollar un enfoque de colaboración entre compañías navieras, instalaciones logísticas y terminales portuarias, transportistas y operadores logísticos, así como en la relación con la ciudad y las comunidades locales donde se desarrolla el puerto. La autoridad portuaria o el gestor de la infraestructura portuaria debe coproducir y combinar cuestiones técnicas y tecnológicas. El desafío es crear ecosistemas, comunidades de interés y prácticas que hagan que todo el sistema sea más inteligente.

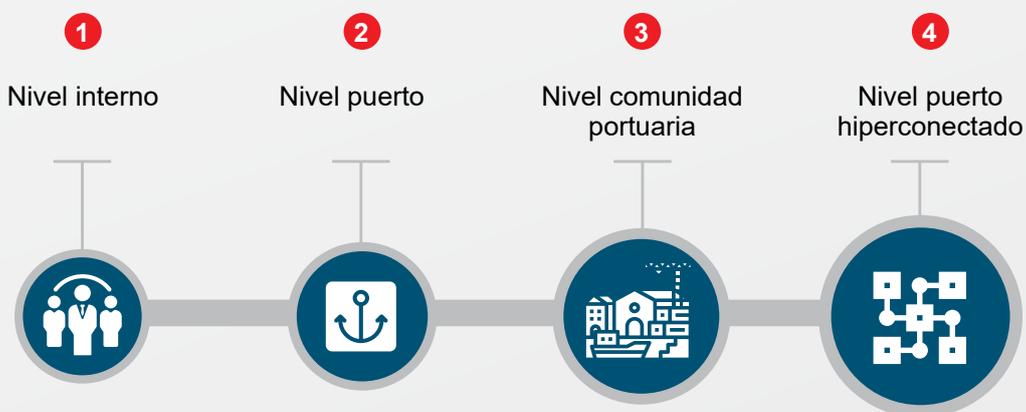
De la misma manera, las mejoras operativas que está proporcionando la industria 4.0 en otros sectores, también pueden proporcionar beneficios inmediatos a los puertos, incrementando su productividad, seguridad, protección y sostenibilidad, al tiempo que permite reducir costes operativos e incrementar beneficios.

De acuerdo a estas necesidades, la implementación del puerto inteligente requerirá de una estrategia digital y de innovación, de una hoja de ruta, un plan de inversiones, y una importante organización y gestión del cambio.

2.1 NIVELES DE TRANSFORMACIÓN HACIA UN PUERTO INTELIGENTE

Para la consecución de un puerto inteligente se identifican cuatro niveles sobre los que desarrollar acciones concretas dentro de un proceso de transformación digital (Figura 2). Un puerto es un sistema complejo y no es suficiente con que solo una de las componentes del puerto sea inteligente para que el puerto sea inteligente, sino que se debe tener un enfoque holístico de la transformación digital para alcanzar un puerto inteligente tomando en consideración estos cuatro niveles.

FIGURA 2 • NIVELES DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL HACIA UN PUERTO INTELIGENTE



Nivel 1: La transformación digital interna.

En este nivel, las empresas y organismos que intervienen en las actividades portuarias trabajan en mejorar sus procesos y en una transformación digital a nivel individual e interno. Dentro de este grado se observan distintos grados de modernización en el puerto, pudiendo existir organizaciones que se encuentran muy avanzadas dentro de su proceso de transformación digital, pero otras que no lo están en absoluto. El objetivo de este nivel es conseguir a nivel individual que los sistemas internos maximicen el valor del negocio y le proporcionen la mayor competitividad gracias a su transformación digital, priorizando las inversiones en tecnologías, sistemas de información, procedimientos estandarizados y sistemas de calidad internos en aquellas áreas en las que se obtengan mayores eficiencias operativas y reducciones de costes. Sin embargo, aún con estas mejoras internas, se siguen manteniendo un gran número de procesos manuales y un uso intensivo del papel u otros mecanismos de comunicación ineficientes con terceros dentro de la cadena de valor empresarial y

de las actividades logístico-portuarias (por ejemplo, siguen existiendo grandes ineficiencias en las actividades de aprovisionamiento, logística, ventas, suministro de servicios y atención al cliente para cubrir las distintas funciones regulatorias de seguridad, gestión del dominio público e infraestructuras y, coordinación y ejecución de las operaciones en el ámbito logístico-portuario).

Nivel 2: El puerto conectado.

En este nivel, la digitalización del puerto comienza a sobrepasar los límites internos de cada organización para focalizarse en la instalación portuaria. Se busca una mayor eficiencia y reducción de costes mediante una sustitución de los procesos manuales requeridos en las relaciones con terceros por procesos electrónicos y automáticos. Este nivel afecta principalmente a las administraciones (autoridad portuaria, aduanas, servicios de inspección en frontera, autoridad marítima) y a las terminales portuarias quienes abren sus sistemas internos para proporcionar un conjunto de servicios en línea que permitan la tramitación de declaraciones y la administración electrónica, sistemas de citas y agendamiento, gestiones documentales electrónicas o reportes electrónicos. Las comunicaciones pueden realizarse bien mediante un registro de los datos por parte de los usuarios en las aplicaciones proporcionadas por las ventanillas únicas y terminales, o puede incluir la posibilidad de registrar los datos requeridos mediante un intercambio electrónico de datos entre los distintos sistemas de información. Las ventanillas únicas administrativas se configuran como un componente fundamental en este nivel para permitir la facilitación del movimiento de buques y cargas.

“Los activos físicos conforman la infraestructura portuaria mientras que los activos digitales conforman su infoestructura”

*Francesc Sánchez. Director General.
Autoridad Portuaria de Valencia.*

Nivel 3: La comunidad portuaria conectada.

Se trata de una evolución del nivel anterior, en el que se busca alcanzar una alianza de toda la comunidad portuaria para la creación de un nodo logístico conectado y coordinado. Se trata de conseguir sinergias y beneficios más allá de la propia empresa y buscar un beneficio conjunto de toda la comunidad portuaria y de los servicios públicos de la administración del Estado. Para una comunidad portuaria conectada se necesitan también procedimientos de operación estándar y sistemas de calidad a nivel puerto. El reto en este nivel es romper los silos de información que introducen serias ineficiencias en las actividades logístico-portuarias. En este nivel se trabaja en la introducción y uso de plataformas digitales tales como sistemas de comunidad portuaria (PCS), plataformas de gestión y contratación de transporte (por ejemplo, plataformas de reserva, contratación gestión y seguimiento del transporte marítimo, terrestre o ferroviario, bolsas de carga, etc.). Los PCS permiten conectar distintos sistemas en el puerto y, en algunos casos, incluso externos a la propia comunidad portuaria, y que, de otra forma, funcionarían de forma aislada, apareciendo silos, duplicidades, ineficiencias, inconsistencias y errores en el registro y reporte de datos en las distintas operaciones y en las formalidades asociadas a los procesos de fiscalización y control de las mismas por parte de los reguladores.

“Para transformarse, la industria portuaria debería cambiar su enfoque estratégico del simple control de recursos a la gestión de recursos, de la optimización de procesos internos a la interactividad externa, y de maximizar el valor del cliente para maximizar el valor del ecosistema general.”

*Yan Jun. CEO.
Shanghai International Port (Group) Co., Ltd.*

Nivel 4: El puerto hiperconectado.

Esta es la etapa con el mayor grado de transformación digital en un puerto donde las personas, organizaciones y objetos (infraestructuras, vehículos, dispositivos, sensores, etc.) se encuentran conectados entre sí y aprovechan las ventajas de las tecnologías digitales, de información y de comunicación emergentes, consiguiendo una efectiva virtualización del entorno más allá de la desmaterialización de la información, y proporcionando inteligencia, inmediatez, interactividad, movilidad y automatización en todas las actividades que acontecen en el puerto, y alineadas con los objetivos empresariales de cada organización. La adopción de tecnologías disruptivas tales como internet de las cosas, la computación en la nube, las aplicaciones móviles, la Internet del valor (blockchain y registros distribuidos), el procesamiento masivo de datos (Big Data), la creación de gemelos digitales (digital twins) o el aprendizaje automático e inteligencia artificial (machine learning, artificial intelligence) son componentes habilitadores del puerto inteligente que abarca las funciones regulatorias, operativas, de gestión del dominio público y de comunidad portuaria que necesitan ser cubiertas en el puerto. El puerto inteligente busca no sólo una eficiencia operativa y una reducción de costes a nivel individual sino también una mejora en las medidas de prevención, control y seguridad, de protección del medioambiente, de eficiencia energética, generación y uso de energías limpias, de integración con el entorno y las ciudades y de conexión del puerto con los corredores marítimos y terrestres, y con las cadenas logísticas globales.

Es necesario destacar que el hecho de que una organización individual que opera en el puerto se encuentre muy avanzada técnicamente no conlleva directamente a la percepción de que un puerto sea inteligente dado que, para ello, se debe considerar el funcionamiento conjunto de todo el ecosistema del puerto.

El proceso de transformación digital de los puertos requiere que se consigan los objetivos que se vayan fijando en cada nivel de digitalización. Dentro de cada puerto, cada miembro de su comunidad portuaria definirá su propia estrategia de digitalización y el conjunto de todas ellas deberá dar lugar a la consecución del puerto inteligente. En este camino se debe conseguir la máxima coordinación posible entre los miembros de la comunidad portuaria, clientes y usuarios de las instalaciones portuarias, así como las ciudades y comunidades locales de su entorno para poder avanzar en los cuatro niveles de transformación digital del puerto, definiéndose objetivos y proyectos específicos, algunos individuales y otros conjuntos. La división del proceso de transformación digital en puertos en cuatro niveles presentada en esta sección, ayudará a fijar los objetivos individuales y conjuntos que se persiguen conseguir por cada parte y definir las actuaciones y proyectos en cada uno de los niveles para cumplir con los objetivos fijados.

2.2 LA AGENDA DE DIGITALIZACIÓN EN EL PUERTO

La digitalización es la evolución de las tecnologías tradicionales de la información y la comunicación hacia un mundo conectado, donde el mundo físico y virtual se unen. Las tecnologías digitales están asociadas a la transformación de nuestro entorno en un entorno inteligente. La digitalización se alcanza, por ejemplo, a través de la incorporación de sensores y dispositivos electrónicos en los elementos físicos, convirtiendo estos elementos en dispositivos inteligentes o sistemas ciber-físicos, que formarán parte de un concepto más amplio, el Internet de las Cosas.

La digitalización es un elemento clave dentro del proceso de automatización y robotización de los elementos que afectan al transporte y la manipulación portuaria, dando lugar a la creación de terminales más inteligentes y automatizadas, operaciones portuarias de vigilancia, recepción y entrega autónoma, transporte de cargas sin conductor, carga y descarga de buques automatizada y buques no tripulados, que harán que el puerto sea más inteligente y desatendido. En el futuro, los puertos utilizarán tecnologías de sensores, tecnologías inalámbricas, drones, blockchain, fuentes alternativas de energía, redes inteligentes y otras tecnologías emergentes ampliamente.

En este contexto, y, dada la abundancia de tecnologías y aplicaciones que aparecen en el contexto de digitalización actual, los puertos deben identificar aquellas que son prioritarias para sus operaciones y entorno. En base a esto, la estrategia de digitalización del ente gestor del puerto (bien sea una autoridad o una empresa o corporación portuaria) deberá dar respuesta a los retos y oportunidades del puerto y de la propia organización para fortalecer su cadena de valor a través del entorno digital, con la intensidad y horizonte temporal adecuados a cada caso, poniendo siempre al cliente y usuario portuario en el centro de atención.

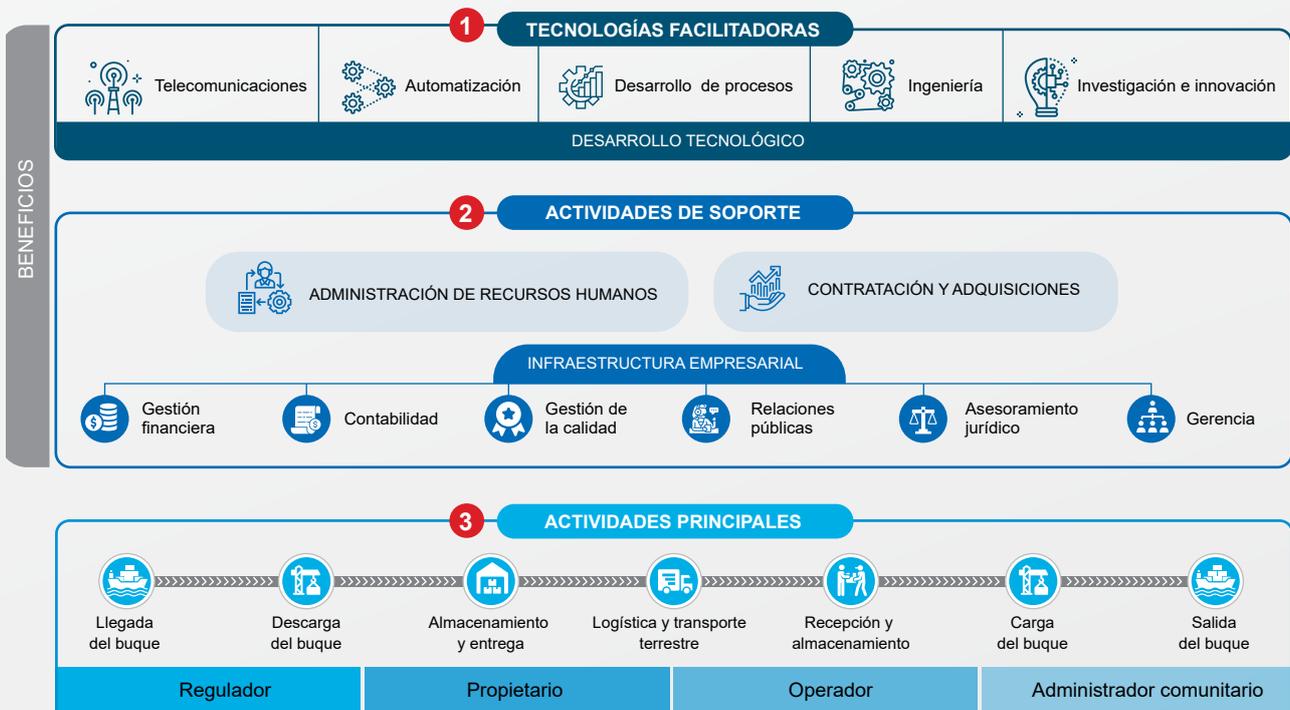
Dicha estrategia es, en cada caso, la base de partida para conseguir un compromiso y coordinación tanto en la propia organización, en la instalación portuaria, y en su comunidad llegando a un máximo nivel de conectividad (puerto hiperconectado) a través del uso y la interconexión de múltiples sistemas y dispositivos dentro del puerto inteligente.

2.2.1 • DEFINICIÓN DE LA VISIÓN DEL PUERTO INTELIGENTE

El puerto, como parte de una cadena logística global, necesita estar atento a todas las iniciativas que se están acometiendo y a las tendencias que aparecen en el propio sector o en otras industrias para que sirvan de inspiración en la visión de su estrategia digital. La visión de puerto inteligente deberá estar basada, de manera realista, en las necesidades propias de cara a la ejecución de la visión dentro de las posibilidades, recursos y plazos de los que se disponen. Al mismo tiempo, es fundamental que la visión de puerto inteligente incorpore las dimensiones de productividad, sostenibilidad, seguridad y protección del puerto.

Para definir la visión del puerto inteligente, el ente gestor (autoridad, empresa o corporación portuaria) debe comenzar por la identificación de las formas con las que las tecnologías digitales podrían ayudar a atender las necesidades del puerto en su cadena de valor. Sin embargo, el puerto no está constituido por una sola entidad sino por un conjunto de ellas que deben funcionar de forma coordinada e interconectada como una sola empresa virtual, en la que su cadena de valor se encuentra distribuida entre todas las entidades que componen al puerto (Figura 3). Esto hace del puerto un sistema complejo, donde no es suficiente con conocer como cada una de las entidades individuales funcionan, sino que también es fundamental entender las relaciones entre todas esas entidades para comprender el sistema.

FIGURA 3 • LA CADENA DE VALOR DEL PUERTO



Para concretar la visión, el ente gestor del puerto necesita identificar cuál es la situación actual, los problemas, los aspectos en los que se está perdiendo valor, los retos y las oportunidades a los que se enfrenta el puerto tanto en sus actividades principales como en las actividades de soporte. Asimismo, también debe identificar las tecnologías facilitadoras permitirán cubrir las necesidades identificadas.

2.2.2 • CREACIÓN DE VALOR A TRAVÉS DEL PUERTO INTELIGENTE

El puerto inteligente debe actuar y dar respuesta a distintos desafíos a los que se enfrentan los puertos, tales como los que fueron expuestos por CEPAL en 2016 durante el “Primer encuentro regional latinoamericano y caribeño de comunidades logísticas y portuarias”:

- La **expansión y crecimiento sostenible de la capacidad portuaria**, dotando de soluciones tecnológicas que mejoren la productividad, eficiencia y conectividad de las infraestructuras;
- La **mejora de la logística portuaria**, mediante la implantación de modelos colaborativos a través de distintas plataformas digitales interconectadas entre sí y con los propios medios de transporte, las infraestructuras y las personas;
- La **integración con el hinterland**, favoreciendo el puerto interconectado para el suministro de servicios en red dentro de cadenas logísticas multimodales y globales;
- La **digitalización e innovación**, favoreciendo un ambiente atractivo para potenciar la innovación y la adopción de avances tecnológicos, donde investigadores, empresas, start-ups y entidades públicas desarrollen una cultura de innovación y cambio tecnológico hacia el puerto del futuro,
- La **integración ciudad-puerto**, favoreciendo la interconexión de las plataformas digitales de puerto inteligente con las plataformas digitales de ciudad inteligentes (Smart city-ports), que facilite una relación común y acción conjunta en áreas comunes de mejora de las problemáticas asociadas al tráfico, la movilidad y la contaminación, la sostenibilidad, la economía, la potenciación de un turismo sostenible, el permanente diálogo entre la comunidad portuaria y la ciudad y la agregación de valor del puerto sobre la ciudad y la región,
- La **calidad de servicio y regulación económica**, permitiendo la creación de un entorno transparente que permita la generación de indicadores sobre la calidad de servicio del puerto y potenciar un mayor dinamismo en el mercado, promueva la competencia, proteja a los usuarios y asegure el traspaso de las eficiencias ganadas a lo largo de la cadena logística,
- La **sostenibilidad social**, donde se produzca una mayor capacitación del capital humano y atracción de talento hacia el entorno logístico y portuario, se consoliden nuevas relaciones laborales dentro de un marco de colaboración y se mejoren los estándares de seguridad industrial, seguridad física y ciberseguridad, y la disminución de los riesgos de accidentes laborales,
- El **desempeño ambiental**, a través de mecanismos de monitorización ambiental de las actividades portuarias, y medidas que mejoren el desarrollo armónico con el medioambiente, la eficiencia energética de las instalaciones, el uso y generación de energías renovables y la progresiva descarbonización de las operaciones.

2.3 GOBERNANZA Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

La implementación exitosa de sistemas y soluciones de puerto inteligente está directamente relacionada con el diseño del modelo empresarial, o modelo de negocio, para cada actuación. Es necesario definir las cuestiones relacionadas con la inversión, la propiedad, el modelo operativo, los flujos de ingresos y gastos, los beneficios, y la orientación de los servicios teniendo en cuenta a las distintas partes involucradas.

Cada puerto tiene sus propias características legales e institucionales que pueden afectar el diseño del modelo empresarial resultante de la aplicación de las tecnologías 4.0 o de determinadas oportunidades de negocio derivadas de la transformación digital. La Tabla 1 muestra una lista de los elementos más comunes que pueden dar lugar a distintos modelos empresariales.

TABLA 1 • ELEMENTOS DEL MODELO EMPRESARIAL DE LAS INICIATIVAS DE PUERTO INTELIGENTE

PARTES QUE PUEDEN ESTAR INVOLUCRADAS EN INICIATIVAS DE PUERTO INTELIGENTE	MODELO DE PROPIEDAD	MODELO OPERATIVO	TIPOS DE FLUJOS DE INGRESOS O BENEFICIOS
• Autoridad portuaria	• Privada	• Privado	• Cargo por unidad
• Autoridad Marítima			
• Aduanas	• Público-privada	• Público-privado	• Cargo por transacción
• Migraciones			
• Inspecciones	• Pública	• Público	
• Operadores portuarios			• Cargo por usuario
• Terminales portuarios			
• Compañías navieras			• Cargo por utilización
• Consolidadores/NVOCC			
• Transitarios			• Cuota de suscripción
• Despachantes de aduanas			
• Depósitos de vacíos			• Cuota mensual
• Transportistas terrestres			

La propiedad y los modelos operativos se ven influidos por sus participantes, sus usuarios y por los servicios que ofrecen. El modelo de propiedad y operación de una tecnología puede ser privado, público-privado o un servicio exclusivamente público, gestionado por una autoridad portuaria, una autoridad local/estatal o una autoridad nacional. Con respecto a los tipos de flujos de ingresos dentro del modelo empresarial del puerto inteligente cabe distinguir que los costes de implantación de una solución tecnológica en un puerto se pueden traducir en cargos que se aplican bien por unidad de carga movida, por transacción realizada, por usuario, por uso de la solución o por cuotas que se pagan para la implantación y operación de la solución tecnológica. En algunos casos, especialmente cuando la propia tecnología o solución digital se ofrezca como servicio, el cargo o coste aplicable a su uso, podrá ser trasladado a una tarifa o tasa específica a ser percibida por los usuarios, mientras que en otros casos estos cargos formarán parte de la estructura de costes a ser cubiertos por las tarifas o tasas de los servicios portuarios que se aplican a los clientes dentro de la cadena de valor.

A continuación, en la Tabla 2 se detallan las características de los posibles modelos:

TABLA 2 • TIPOS DE MODELOS DE NEGOCIO DE LAS INICIATIVAS DE PUERTO INTELIGENTE

MODELO DE PROPIEDAD DE LA INICIATIVA	MODELO OPERATIVO DE LA INICIATIVA	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Público 	<ul style="list-style-type: none"> • Público 	<ul style="list-style-type: none"> • La inversión y financiación de la solución, equipos e infraestructura se realiza por el sector público, el cual se hace cargo también de su operación y mantenimiento. • Aspectos positivos: Se espera que la participación activa del sector público permita fortalecer la integración y la interoperabilidad con las plataformas de servicios de información B2G y G2G existentes. • Aspectos negativos de este modelo: Falta de agilidad y eficiencia por parte de los organismos públicos para incorporar los adelantos tecnológicos y los nuevos servicios demandados por los participantes. Exige apoyo financiero y gobernanza para asegurar el desarrollo de un modelo empresarial sostenible y atractivo de carácter público y no dirigido a una empresa en particular.
<ul style="list-style-type: none"> • Público 	<ul style="list-style-type: none"> • Privado 	<ul style="list-style-type: none"> • La inversión y financiación de la solución, equipos e infraestructura se realiza por el sector público, pero cede la operación y mantenimiento a una empresa privada, mediante un contrato de servicios, de concesión o de autorización. • Aspectos positivos: Los organismos públicos asumen un papel activo para asegurar la prestación neutral y justa de sus servicios a todas las partes interesadas, mientras que una empresa privada gestiona la tecnología con un criterio comercial. • Aspectos negativos: Es necesario justificar que los servicios son de naturaleza pública y que por tanto, deben estar regulados de modo a proteger a los usuarios del puerto de prácticas potencialmente monopolísticas en términos de fijación de precios, acceso a la información, neutralidad, uso impropio de los datos y equidad, o cubrir riesgos que el sector privado no quiere asumir.
<ul style="list-style-type: none"> • Público-privado 	<ul style="list-style-type: none"> • Privado o Público-privado 	<ul style="list-style-type: none"> • La inversión y financiación de la solución, equipos e infraestructura se realiza de forma conjunta entre el sector público y el sector privado, mientras que la operación puede ser desarrollada por ese mismo partenariado o exclusivamente por la parte privada. • Aspectos positivos y negativos: Este escenario exige que se establezcan acuerdos contractuales entre una o más partes de los sectores público y privado. Ambos se hacen cargo de cubrir los riesgos financieros, técnicos y operativos del proyecto.
<ul style="list-style-type: none"> • Privado 	<ul style="list-style-type: none"> • Privado 	<ul style="list-style-type: none"> • La inversión y financiación de la solución, equipos e infraestructura se desarrolla por el sector privado quien también la opera. Algunos riesgos de este modelo son que las soluciones y los servicios digitales suministrados pueden estar fragmentados o desconectados. • Aspectos Negativos: Puede no incentivar el desarrollo de servicios que no sean rentables para el propietario de la iniciativa y que, sin embargo, sean valiosos para el puerto. También puede inducir a algunos de los actores logísticos a pensar que los participantes más dominantes reciben un trato preferencial. Esto puede impedir la creación de una solución neutral y justa para todos y generar superposiciones, en perjuicio del rendimiento de la cadena valor.

2.4 IMPULSORES ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LAS SOLUCIONES PORTUARIAS INTELIGENTES

Complementariamente al proceso de digitalización, los puertos se enfrentan a otros grandes retos de transformación como la transición energética, la presión que ejercen las ciudades y comunidades locales, la transición hacia una economía circular y ambientalmente sostenible, y la conversión de las actividades de producción en lo que se etiqueta bajo el concepto de 'Industria 4.0'.

El principal reto para los puertos es asegurar que sus clústeres continúen siendo vitales para la economía en un contexto competitivo cada vez más basado en la innovación. El éxito en la aplicación de las nuevas tecnologías es fundamental para esta transición. A continuación, se presentan los principales impulsores económicos y sociales de las soluciones portuarias inteligentes.

2.4.1 • CAMBIOS CLIMÁTICOS

Si bien los puertos son centros importantes de actividad económica dado su papel crucial en el comercio internacional, sus consecuencias ambientales negativas no deben pasarse por alto. Los puertos a menudo están ubicados cerca de las áreas urbanas, y sus actividades representan una parte significativa de los efectos ambientales adversos. Según la OCDE², los costos ambientales de las actividades portuarias (como la contaminación del aire, el agua y el ruido, así como la generación de desechos) tienden a localizarse, afectando principalmente a la comunidad vecina. El daño ambiental no solo es consecuencia de la actividad en el recinto portuario, sino también de las actividades de transporte hacia y desde el puerto para su hinterland³.

El impacto perjudicial para el medio ambiente de los puertos marítimos y la logística marítima es el resultado de varias fuentes, como los buques, operaciones de manejo de carga, transporte por carretera, infraestructura portuaria e iniciativas de desarrollo. Los efectos adversos en el medio ambiente pueden variar de un puerto a otro dependiendo del tamaño del puerto, los tipos de operaciones y los buques que visitan el puerto y el volumen de tráfico.

El Acuerdo de París y su enfoque ascendente implican que cada parte firmante debe trabajar no solo para alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones, sino también para desarrollar objetivos ambiciosos que tengan un mayor impacto positivo. El informe de puertos y logística marítima verde⁴, elaborado por el Banco Interamericano de Desarrollo, presenta datos importantes del papel del sector en los cambios climáticos y los impactos en Latinoamérica y el Caribe. También muestra un análisis de alternativas de mitigación (Tabla 3).

La sostenibilidad abarca la dimensión social, económica y ambiental de forma que al reducir el impacto medioambiental se pueden alcanzar mejores resultados económicos y sociales. De esta manera, el creciente enfoque en la protección del medio ambiente hace imperativo que la logística marítima y los puertos marítimos mitiguen sus externalidades ambientales negativas. Esto implica desarrollar o continuar los esfuerzos para la transformación del puerto y sus operaciones relacionadas. Implica hacer que los puertos sean amigables con el medio ambiente y sostenibles mediante la conciliación de objetivos económicos, sociales y ambientales con las ciudades y comunidades locales. Los puertos deben evolucionar constantemente para satisfacer las crecientes demandas, sin embargo, esa evolución ya no se centra solo en ser rentable, sino también en ser ambientalmente eficiente. Las operaciones portuarias y la logística marítima deben operar utilizando un enfoque holístico de la sostenibilidad.

Los puertos verdes son aquellos que tienen en cuenta el medio ambiente en sus actividades cotidianas utilizando proyectos y políticas de desarrollo ambiental y al mismo tiempo considerando y equilibrando sus intereses económicos. Estos puertos se centran en reducir su huella de carbono y la contaminación, conservar los recursos naturales y minimizar el desperdicio de energía. Algunos puertos verdes incluyen el desarrollo de conexiones con su comunidad, así como la reducción del ruido y la intrusión visual.

2. Merk, Olaf "The Competitiveness of Global Port-Cities: Synthesis Report," *OECD Regional Development Working Papers* (OECD, September 6, 2013), <https://doi.org/10.1787/5k40hdhp6t8s-en>.

3. Gonzalez, Marta, Bergqvist Rickard, and Monios, Jason, "A Global Review of the Hinterland Dimension of Green Port Strategies," *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 59 (March 2018): 23– 34, <https://doi-org.proxy-um.researchport.umd.edu/10.1016/j.trd.2017.12.013>.

4. *Greening Ports and Logistics in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank (IDB)

TABLA 3 • ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN AMBIENTAL

	FUENTE	IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	ALTERNATIVA
CONTAMINACIÓN DEL AIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Barcos 		<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de Energía en Tierra • Reducción de Velocidad • Optimización de los Puertos • Combustibles Alternativos
	<ul style="list-style-type: none"> • Maquinaria de Carga • Camiones 	<ul style="list-style-type: none"> • CO2 → Cambio Climático • SO2, NO2 y PM → Problemas de Salud 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustibles Alternativos • Equipamiento Eléctrico/Camiones menos contaminantes • No acelerar y límites de velocidad • Raíles en el patio de contenedores • Distancias más cortas entre terminales y transporte en tierra
CONTAMINACIÓN DEL AGUA	<ul style="list-style-type: none"> • Excedentes de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Especies invasivas → Daño al ecosistema marino 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas y regulaciones para la gestión de excedentes de agua
	<ul style="list-style-type: none"> • Fugas de Aceite (Operacionales y Accidentales) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite crudo en sedimentos → Daño al ecosistema marino 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanques de aceite más seguros • Seguir la normativa MARPOL • Descargar los sistemas de gestión
	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales (negras y grises) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vertidos → Contaminación del Agua 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Vertidos a través del agua de tormenta 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de sustancias contaminantes en el agua → contaminación del agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de gestión del agua de tormenta
	<ul style="list-style-type: none"> • Dragados 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de sustancias contaminantes → incremento de la suciedad del agua y daños al ecosistema marino 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de gestión de desechos provenientes de dragados
CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	<ul style="list-style-type: none"> • Embarcaciones • Carga y Descarga de Contenedores • Tráfico Terrestre • Maquinaria de obras civiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Perjuicio en la salud de las comunidades vecinas • Daño de las especies marinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de gestión del Ruido
DESECHOS	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas Negras y Aguas de Alcantarilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro de los entornos naturales • Contaminación del aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de gestión de desechos considerando: minimización y eliminación de desechos, tratamiento de desechos y atenuación de residuos
DESARROLLO TERRESTRE	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupación Terrestre • Incremento de las Actividades 	<ul style="list-style-type: none"> • Daño a los ecosistemas y la biodiversidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la productividad del segmento terrestre • Reubicación de los puertos • Alineamiento del plan de uso del terreno entre puertos y ciudades

Fuente: Greening Ports and Logistics in Latin America and the Caribbean

La relevancia de los puertos verdes garantiza el más alto nivel de eficiencia, seguridad, inclusión social, conservación de recursos y protección ambiental. Los puertos deben integrar las preocupaciones ambientales en sus operaciones, así como en su interacción con otras partes interesadas, incluidos los operadores de terminales, las líneas navieras y las comunidades vecinas.

Si bien el principal catalizador de las políticas ambientales es, en efecto, la progresiva entrada en vigor de nuevas regulaciones de tipo ambiental, es necesario señalar la oportunidad de mejora en eficiencia y competitividad portuaria que este tipo de medidas pueden conseguir. Respecto a esto último, son muchas las empresas que tienen objetivos concretos de reducción de la huella de carbono de sus productos. Empresas exportadoras e importadoras están exigiendo cada vez más que sus proveedores les garanticen cadenas logísticas, no solo más eficientes, sino más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Estas demandas justifican la búsqueda y el desarrollo de soluciones y políticas portuarias que permitan alcanzar un modelo operativo de cero emisiones en el medio plazo.

Ciertamente hoy en día la elección de un puerto por parte de una naviera no se basa en la excelencia ambiental del mismo. Sin embargo, la tendencia del mercado antes mencionada y la entrada en vigor de regulaciones ambientales cada vez más exigentes, indican que la apuesta por la sostenibilidad podría ser un factor diferencial y de valor añadido para aquellos puertos que sigan este modelo. Especialmente, en el momento en que la normativa se endurezca y los cargadores/navieras pidan cargar/descargar en puertos “Green”.

2.4.2 • CAMBIOS ENERGÉTICOS

La eficiencia energética es una disciplina que engloba diferentes líneas de actuación, configurándose como un elemento clave para el mantenimiento e incremento del nivel de competitividad de los puertos que apuestan por ser más eficientes en el uso de los recursos.

La progresiva entrada en vigor de diversas regulaciones internacionales, como por ejemplo las denominadas Emission Control Areas (ECAs) o iniciativas como la World Ports Climate Initiative, en la que 55 puertos de todo el mundo firmaron una declaración conjunta con el compromiso de reducir sus niveles de emisiones de efecto invernadero, han resultado en un incremento significativo de la conciencia ambiental en el ámbito portuario.

Esto ha impulsado la búsqueda y el desarrollo de soluciones que permitan reducir las emisiones generadas en buques y puertos, y la implementación de tecnologías que permitan incrementar la eficiencia energética de estas infraestructuras clave, como pueden ser el uso de combustibles alternativos, energías renovables o sistemas inteligentes de gestión energética.

En definitiva, la eficiencia energética considerada como oportunidad de mejora para reducir costes e incrementar la productividad de las empresas del clúster portuario, ya sea transportistas, operadores logísticos, operadores de terminales, autoridades portuarias o navieras es un área de presente y futuro que va a influir significativamente en los modelos de negocio de los mencionados agentes en los próximos años. Un ejemplo de esto es el desarrollo de la sensorización de maquinaria y equipos en puertos y terminales, cuya aplicación permite medir, evaluar y mejorar su rendimiento operativo y energético.

Una política activa de innovación vinculada a la eficiencia energética, implantación progresiva de energías renovables en el puerto, uso de nuevos combustibles alternativos como el hidrógeno y su combinación con las tecnologías de la información serán temas cada vez más recurrentes en el mundo portuario. Este tipo de políticas no solo benefician la competitividad de un puerto, sino que mejoran la percepción de los ciudadanos, transformando la imagen tradicional del puerto contaminante en un enclave sostenible e innovador, con una elevada componente tecnológica y mínimo impacto ambiental.

2.4.3 • ECONOMÍA CIRCULAR

La actividad económica necesaria para que la sociedad actual pueda acceder a bienes y servicios presenta un balance en la mayoría de los casos negativo en cuanto a su interacción con el medioambiente. Los diferentes procesos productivos convierten materias primas en productos finales que sirven a la sociedad para alimentarse, dotarles de energía, proporcionarles infraestructuras, etc. La escasez de estos recursos siempre ha sido uno de los elementos clave a resolver por la economía. El comercio internacional creciente, la tendencia al alza del comercio electrónico y la apuesta por los modelos productivos intensivos en consumo nos enfrenta a innumerables problemas desde un enfoque ambiental, social y económico.

FIGURA 4 • LA ECONOMÍA CIRCULAR



Fuente: RAEE Andalucía

El concepto de economía circular ofrece parte de la solución a estos problemas apostando por un modelo sostenible centrado en beneficios positivos para la sociedad mediante la redefinición del crecimiento basado en estrategias de valorización de productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo posible, reduciendo así la generación de residuos. En una definición más amplia, sugiere un esquema de colaboración entre los sectores para minimizar el impacto de su actividad económica gracias a la compartición de activos, apuesta por servicios de alquiler, reparación, valorización, mercados de segunda mano, patrones de simbiosis industrial, etc., no tan centrados en residuos (Figura 4). Este enfoque contrasta con el modelo económico lineal tradicional, basado principalmente en el concepto “usar y tirar”, que requiere de grandes cantidades de materiales y energía baratos y de fácil acceso.

Uno de los motivos para avanzar hacia una economía circular es el aumento de la demanda de materias primas y la escasez de recursos. Varias materias primas cruciales son finitas y, como la población mundial crece, la demanda también aumenta. Otra de las razones es la dependencia de otros países de ciertas materias primas. El impacto en el clima es otro de los factores. La extracción y el uso de materias primas

tienen importantes consecuencias medioambientales, aumenta el consumo de energía y las emisiones de CO₂, mientras que un uso más inteligente de las materias primas puede ayudar reducir las emisiones contaminantes.

El sector portuario y marítimo jugará un importante papel en la puesta en marcha de iniciativas de Economía Circular al intervenir los puertos como "intermediarios" y puntos de paso de diferentes tipos de residuos y flujos industriales, actuando como centros logísticos para la importación y exportación de materiales de desecho, razón por la cual los clústeres portuarios son lugares ideales para evaluar e incorporar estrategias de economía circular. Además, los puertos acogen a numerosas industrias vinculadas con la recogida, transporte y tratamiento de residuos que se generan por la propia actividad del puerto en sí y como resultado de la prestación de servicios a buques que escalan en ellos. Esta circunstancia estimula la aparición de círculos de innovación asociados a estas actividades. Por su parte, la utilización de tecnologías y procesos inteligentes en los puertos también pueden contribuir para atender estos objetivos.

Entender la economía circular como un sistema, la correcta evaluación de los flujos de residuos, los esquemas colaborativos para consumo de materiales, maquinaria, etc., la generación de sistemas de gestión inteligente de residuos, etc. contribuyen a la estrategia que cualquier puerto debería afrontar en el futuro para aportar valor y posicionarse tecnológicamente en el mercado.

2.5 BARRERAS A SUPERAR EN EL DESARROLLO DEL PUERTO INTELIGENTE

A pesar de las ventajas que teóricamente supone el concepto de puerto inteligente, existen una serie de barreras y retos que deben ser tomados en consideración.

Gobernanza y modelos de financiación

Supone una de las principales dificultades para la implantación de las tecnologías relacionadas con el puerto inteligente. En muchos casos su implantación requiere una significativa inversión económica (ya sea en infraestructura, en equipos, en software, en personas, en capacitación, ...), por lo que es necesario estudiar con especial cuidado la viabilidad de adoptar dichas medidas y la participación del sector público y privado. La financiación se revela como un obstáculo que limita un mayor desarrollo de este campo, ya que evidencia una distancia entre grandes empresas y puertos, con un mayor acceso a recursos económicos para implantar estos sistemas, frente a las dificultades que encuentran pequeñas y medianas empresas y puertos de menor tamaño. La priorización de iniciativas, el aprovechamiento de incentivos, fondos o ayudas a la innovación, la creación de mecanismos de innovación abierta o los mecanismos de compra pública innovadora pueden permitir superar esta barrera inicial.

Gestión del cambio y la innovación

En el entorno del puerto inteligente se producen cambios debidos a innovaciones tecnológicas, incrementos en la eficiencia, mayor cooperación interempresarial, cambios en los procesos, en el enfoque económico, en la cultura corporativa que exigen a las organizaciones una capacidad de aprendizaje y una gestión del cambio centrada en los recursos humanos. La adopción de nuevas tecnologías exige un cambio en la concepción/actitud de los participantes en la actividad portuaria. La velocidad con la que está sucediendo el proceso de digitalización es enorme y hace que se corra el riesgo de quedarse obsoletos y fuera del mercado.

Así, el empleo de tecnologías muy avanzadas como la IA puede generar una desconfianza ante el desconocimiento de lo que dicha tecnología puede implicar, o la adopción de modelos de negocio basados en la transparencia de información y el impulso de la información abierta generan desconfianza por si la información es filtrada y utilizada en contra los intereses de quién la proporciona. Esto genera un rechazo por parte de ciertas partes o empresas.

Ante este escenario, es necesario empezar con esta transformación digital de forma progresiva. Los ecosistemas de innovación en el puerto pueden facilitar el cambio cultural de la empresa y trabajadores con la introducción de nuevos valores y actitudes frente a la transformación digital del puerto y asociarse para afrontar proyectos de mayor envergadura.

Rechazo social

Otra barrera que encontramos en la transformación digital derivada del puerto inteligente es el rechazo social. Se trata de una barrera asociada al empleo de nuevas tecnologías como sustitutos de las personas, en la cual se apunta a que, fruto de una mayor automatización y robotización de las operaciones se puede producir una reducción de puestos de trabajo. A pesar de la controversia de esta barrera, es posible mejorar la imagen de las nuevas tendencias mostrando datos sobre la cantidad de puestos de trabajo que en materia tecnológica se pueden crear. Un ejemplo de este tipo de información viene dado en el informe generado por la Organización General del Trabajo⁵.

La digitalización de la industria conlleva riesgos laborales psicosociales, organizacionales, de seguridad o ergonomía que hasta ahora no se habían contemplado. Para enfrentarse a estos riesgos, las organizaciones deben potenciar estrategias y acciones para prevenirlos, tales como técnicas de mentorización, capacitación, códigos éticos que potencien el teletrabajo y el derecho a la desconexión, evaluaciones de riesgos psicosociales, cobots y wearables junto con sistemas de protección inteligentes que mejoren las condiciones ergonómicas y prevengan y protejan los riesgos en la seguridad laboral y la salud de los trabajadores.

El desafío de la tecnología

En numerosas ocasiones parece que la tecnología avanza a un ritmo superior a lo que las organizaciones y trabajadores pueden asumir, pero al mismo tiempo también parece que la tecnología no está lo suficientemente madura y consolidada como para su adopción y sustitución frente a las tecnologías actuales. Para conseguir dominar

⁵ https://www.ilo.org/global/research/publications/working-papers/WCMS_544189/lang-es/index.htm

la tecnología y su aplicación en los entornos deseados se desarrollan prototipos, pruebas de concepto y pilotos que permitan verificar la validez al tiempo que pasar por un proceso de aprendizaje de las mismas.

La problemática de la ciberseguridad

La introducción de nuevas tecnologías o la falta de conocimiento de la misma también genera desconfianza por la posible aparición de vulnerabilidades que pongan en riesgo los activos digitales y los datos. Esta situación puede originar una reticencia a la adopción de estas nuevas tecnologías por la inseguridad que generan. La creación de estándares y medidas de protección y su aplicación frente a ciberataques, así como una correcta configuración de los sistemas para su protección puede generar la confianza necesaria para que se acelere la adopción de las nuevas tecnologías.

La necesidad de trabajo colaborativo

El puerto inteligente no se puede concebir sin una colaboración tanto a nivel intra-empresarial como a nivel inter-empresarial. Por lo tanto, en aquellas situaciones en las que no exista tal colaboración o ésta sea insuficiente, los resultados obtenidos tras la implantación de las tecnologías oportunas no llegarán a ser los esperados. En algunos casos será necesario un mayor apoyo por parte de las instituciones/gobiernos, de manera que incentiven, por ejemplo, actuaciones tales como el uso de vehículos basados en combustibles alternativos. Para que las medidas a adoptar sean eficientes debe haber una actitud de colaboración entre todas las partes para que los beneficios esperados se logren. Se debe convencer a los participantes que la mejor manera de incrementar la eficiencia operativa del puerto es mediante un trabajo conjunto, buscando una relación ganar-ganar para todos.

Falta de personal cualificado

La irrupción de la industria 4.0 y el Internet de las cosas ha conllevado a una demanda de personal cualificado con nuevos perfiles profesionales y habilidades nuevas en ámbitos tales como análisis de datos, mantenimiento predictivo, ciberseguridad o blockchain en los que, en la actualidad, es insuficiente la formación reglada para cubrir esta demanda y se impone un aprendizaje autodidacta. Adicionalmente, para el puerto inteligente se requiere no solo una buena capacitación en las nuevas tecnologías sino también un conocimiento de la industria y del sector portuario y marítimo, que requiere de una capacitación adicional específica que resulta complicada de encontrar en el mercado laboral.

La transformación digital conlleva también la aparición de nuevos perfiles profesionales y la adquisición de competencias transversales centradas en los ámbitos más humanos que las máquinas no pueden alcanzar. Los profesionales del futuro más demandados requerirán conocimientos de diseño, programación, habilidades humanas analíticas, resolutivas, de liderazgo e influencia social, como profesionales de ventas y marketing, gerentes, perfiles de innovación y personal de servicio al cliente.

2.6 EL SURGIMIENTO DE ECOSISTEMAS DE INNOVACIÓN EN PUERTOS

Una de las herramientas clave de cara a superar las barreras anteriormente citadas en el desarrollo de los puertos inteligentes es la innovación. Dentro de un ecosistema tan competitivo como el portuario, la clave para obtener un incremento de la productividad y superar las barreras económicas y sociales existentes reside en ser capaces de orquestar el ecosistema portuario, aprendiendo a combinar el capital financiero con el capital humano y a obtener valor añadido para la comunidad portuaria y su ciudad.

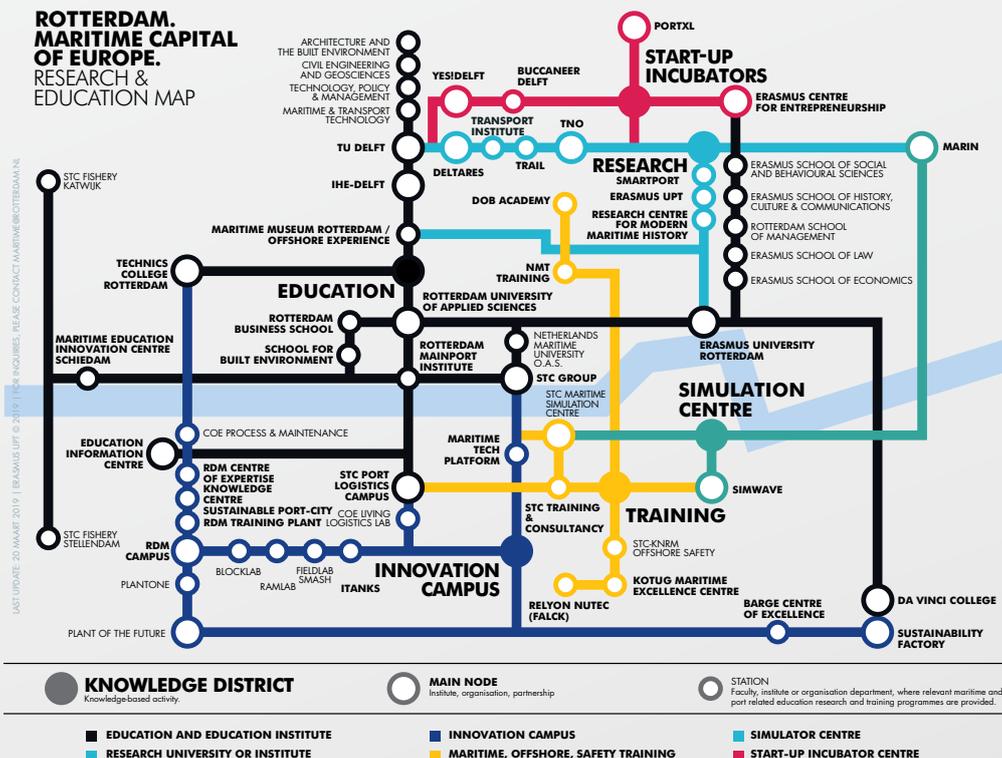
El término 'ecosistema de innovación' se ha expandido entre los actores involucrados en los sistemas de innovación. La idea central es que la innovación no prospera a través de acciones aisladas de las empresas individuales, sino que más bien depende de una amplia gama de actores interrelacionados. En concreto, un ecosistema de innovación está compuesto por diferentes elementos, incluyendo una fuerte cultura empresarial, la disponibilidad de capital de riesgo, instituciones educativas, centros de investigación y desarrollo, aceleradoras e incubadoras de startups, y regulación apropiada que fomente la innovación.

Como ejemplo de ecosistemas de innovación en puertos se tienen dos de los referentes a nivel internacional: el Puerto de Rotterdam y Singapur.

Por un lado, el Puerto de Rotterdam ha tomado una posición de Líder al producir junto su comunidad portuaria una fuerte agenda de innovación, con la creación e inversión en distintas estructuras. La Autoridad Portuaria de Rotterdam tiene la ambición de ser, no sólo el puerto más grande, sino también la principal capital de innovación marítima de Europa. Una expresión clara de su esfuerzo en desarrollar su ecosistema es el mapa esquemático difundido por el puerto (Figura 5), que proporciona una visión global de los centros de formación, investigación, innovación y desarrollo en Rotterdam.

Algunos de los programas creados en el Puerto de Rotterdam para estimular el ecosistema son: **PortXL**, el cual actúa como acelerador de ideas; **SmartPort**, el cual tiene como rol realizar programas de investigación y desarrollo; y **RDM**, cuya función es la incubación de startups y la coordinación de testing.

FIGURA 5 • ESTRUCTURA DEL ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN EN ROTTERDAM



Fuente: Puerto de Rotterdam

Por su parte, la Autoridad Marítima y Portuaria de Singapur (MPA⁶), junto con el operador portuario PSA International y la comunidad portuaria local, han desarrollado la creación de un ecosistema de innovación marítima que se ha convertido en referente no solo en Asia sino en todo el mundo. Algunos elementos que ese ecosistema asiático ha desarrollado recientemente son: **PIERT71**⁷, el cual es una mezcla de incubadora, aceleradora de startups y marketplace de innovación con enfoque en el mundo marítimo portuario; **PSA Unboxed**⁸ que actúa como brazo de aceleración e inversión en startups del operador PSA International, y **Singapore Maritime Institute - SMI**⁹ (R&D Institute) – el cual realiza las labores de investigación y desarrollo.

Junto a estas dos iniciativas, otros emplazamientos como el Puerto de Nueva York (New York Maritime Innovation Center), Hamburgo (Rainmaking Trade & Transport Impact Program) o Londres (StartupWharfis) han comenzado a implementar distintas iniciativas de innovación.

El objetivo de las instituciones que lideran estos clústeres debe ser de alinear las partes interesadas y establecer una agenda común sobre el desarrollo del capital humano, la investigación y la innovación. Trabajando de esta manera, puertos como Rotterdam y Singapur están solucionando problemas muy específicos relacionados con la eficiencia operativa, la utilización del equipo, el consumo de energía o la utilización de mano de obra. De este modo contribuyen al desarrollo económico y social de la comunidad portuaria, la ciudad y la región.

6 <https://www.mpa.gov.sg/>

7 <https://www.pier71.sg/>

8 <https://unboxed.globalpsa.com/>

9 <https://www.maritimeinstitute.sg/default.aspx>

3 • PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

La estrategia y definición de la visión del puerto inteligente es la base de partida para conseguir un compromiso y coordinación tanto en la propia organización, en la instalación portuaria, y en su comunidad llegando a un máximo nivel de conectividad (puerto hiperconectado), en el cuál se puedan utilizar múltiples sistemas y dispositivos para mantener las distintas fuentes de información que se configuran en el puerto inteligente permanentemente conectadas.

La Planificación Estratégica es el proceso de definición y concreción de la estrategia empresarial. Es una metodología que permite la definición, el desarrollo y la implementación de acciones para alcanzar los objetivos definidos por la dirección de la empresa.

La importancia de la planificación estratégica radica en su vinculación directa con los resultados empresariales de cualquier organización, sean económicos o de otro tipo. La planificación estratégica incide asimismo en los procesos que tienen lugar tanto internamente como en la relación de la empresa con agentes externos. En cualquiera de estos procesos, la planificación estratégica actúa como regulador de las acciones que deben servir para tomar decisiones orientadas a la consecución de los objetivos de la organización.

Es conocido que la estrategia de la empresa está basada en su declaración de Misión, Visión y Valores. La Misión define a qué se dedica la empresa, el mercado al que van dirigidos sus productos y servicios y la imagen corporativa de la misma. La Visión describe el estado y posición que la organización aspira a alcanzar a medio y largo plazo, es decir, dónde se quiere estar en un escenario futuro. Los Valores constituyen la filosofía, principios, creencias, normas y reglas generales de funcionamiento de la empresa. Normalmente, la estrategia se divide en Líneas Estratégicas que son los ejes fundamentales en que se basa la empresa para llevar a cabo su Misión y alcanzar su Visión.

La definición de la estrategia digital puede seguir también este proceso de planificación estratégica en el cual, manteniendo la misión de la organización, especializar su visión en la vertiente de incorporación de nuevas tecnologías orientadas hacia un incremento de la productividad, seguridad, protección y sostenibilidad a nivel individual, puerto, comunidad portuaria y entorno hiperconectado.

3.1 EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

La planificación estratégica exige un seguimiento continuo de la estrategia de la empresa y está basada en una serie de etapas a seguir. Como se muestra en la Figura 6, el punto de partida de la planificación estratégica consiste en realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa y su relación con el entorno, plasmando las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de la misma. La Misión, Visión y Valores de la organización deben definirse según el resultado del mismo. Teniendo en cuenta estas etapas previas, la empresa debe articular su estrategia de manera clara y concisa, dividiéndola en líneas estratégicas.

Las siguientes etapas que conforman la planificación estratégica pasan por la definición de objetivos estratégicos, indicadores e iniciativas sobre las que se efectuará un seguimiento y control mediante el cuadro de mando integral como herramienta de gestión estratégica.

FIGURA 6 • ETAPAS DE LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA



Para que la estrategia del puerto inteligente esté correctamente formulada, ésta debe ser capaz de alcanzar a lo largo del tiempo los objetivos propuestos y tener en cuenta la permanente interacción con su entorno. Además, es fundamental que la estrategia sea dinámica, de forma que permita a la empresa u organización adaptarse a los continuos cambios del mercado, y sirva de base para la formulación de metas e iniciativas que ayuden a cumplir con los objetivos planteados.

Sobre la base del proceso de planificación estratégica, la estrategia de un puerto inteligente se subdivide en líneas estratégicas. Éstas son las directrices fundamentales y prioritarias de desarrollo del puerto inteligente, agrupando cada una de ellas uno o varios objetivos dentro del mismo ámbito. Generalmente, las líneas estratégicas del puerto inteligente reflejan los principales ejes de actuación como son la productividad, incluyendo excelencia operativa, desarrollo y modernización, la seguridad industrial y física (o protección); la sostenibilidad, incluyendo la protección del medioambiente; la eficiencia energética y uso de fuentes de energía renovables; el crecimiento; y la satisfacción de usuarios y clientes.

3.2 HERRAMIENTAS DE APOYO A LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

Las herramientas de apoyo a la planificación estratégica pueden ser de gran ayuda en la sistematización del proceso de medición, recopilación, seguimiento y control del alcance de los objetivos estratégicos. Las herramientas más comunes son: el cuadro de mando integral, el mapa estratégico, los sistemas de indicadores, y las herramientas de monitorización y control.

El **Cuadro de Mando Integral o Balanced Scorecard** (CMI o BSC, respectivamente) es una herramienta de gestión que facilita la implantación de la estrategia en la empresa, proporcionando el marco, la estructura y el lenguaje adecuados para traducir la Misión, Visión y Valores a objetivos e indicadores. El primer paso para la construcción de un Cuadro de Mando Integral consiste en identificar los propósitos principales, es decir, los Objetivos Estratégicos, seleccionando para cada uno de ellos el indicador o indicadores que mejor recojan y comuniquen la intención de dichos objetivos. A la hora de dichos objetivos, uno de los aspectos a considerar es que sean reales y medibles, para que mediante la elección de los indicadores adecuados puedan ser debidamente cuantificados.

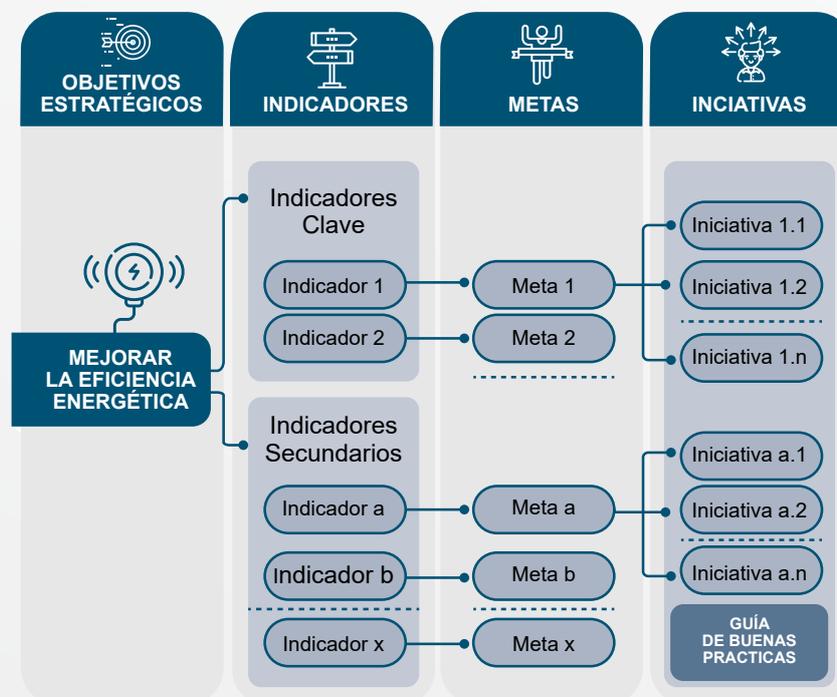
La perspectiva interna estará asociada a las acciones de puerto inteligente que se abordan a nivel interno, mientras que en la perspectiva de cliente encontramos las acciones que se abordan a nivel de instalación portuaria, de comunidad portuaria y de puerto hiperconectado.

Entre otras ventajas, esta herramienta extiende el conjunto de **objetivos estratégicos** más allá de los financieros, por lo que se convierte en el sistema de gestión ideal para incorporar objetivos pertenecientes a otras categorías, como los objetivos incluidos en el puerto inteligente que no solo apuntan hacia una mejora de la productividad. Para ello, el CMI contempla la actuación de distintas perspectivas interrelacionadas entre sí y transversales a las líneas estratégicas de la organización. Generalmente se formulan cuatro perspectivas, aunque pueden añadirse tantas como cada empresa considere oportunas, siendo las habituales las siguientes:

- La perspectiva financiera que contempla los objetivos de los accionistas de la empresa y equilibra los intereses a corto y largo plazo.
- La perspectiva del cliente que recoge una proposición de valor diferenciada a nivel de instalación portuaria, de comunidad portuaria y de puerto hiperconectado.
- La perspectiva interna, la cual reúne los procesos internos de creación de valor. Estos procesos pueden dividirse generalmente en cuatro grupos: procesos de gestión operativa, procesos de gestión de clientes, procesos de innovación y procesos reguladores y sociales.
- La perspectiva de aprendizaje y desarrollo que alinea la estrategia con los recursos, sobre todo con los intangibles: personas, tecnologías digitales y cultura organizacional.

Asociados a dichos objetivos se definen un conjunto de **indicadores**, los cuáles dependiendo de su jerarquía se consideran como indicadores clave o indicadores secundarios. Asimismo, también se fijan de acuerdo con la estrategia, unos valores a alcanzar por dichos indicadores, también llamados **metas** (una por indicador y horizonte temporal), y se diseñan unas iniciativas estratégicas con el propósito de alcanzarlos. Objetivos estratégicos, indicadores, metas e iniciativas estratégicas componen el Cuadro de Mando Integral, el cual se organiza en un conjunto de tablas que los recopilan y ordenan (Figura 7).

FIGURA 7 • CUADRO DE MANDO INTEGRAL



Los cuadros obtenidos con la aplicación del CMI, pese a la segregación que realizan en perspectivas y objetivos estratégicos, resultan insuficientes en muchas ocasiones para la adecuada toma de decisiones por parte de la dirección de la empresa. El eslabón que falta entre la formulación de la estrategia y su ejecución se resuelve utilizando una nueva herramienta, el **Mapa Estratégico**, que proporciona una visión global de la estrategia, relacionando los objetivos estratégicos entre ellos. Como se muestra en la Figura 8, se trata de una representación visual de la estrategia que recoge en una sola página cómo se integran y combinan los objetivos estratégicos de las distintas perspectivas.

Estas interacciones permiten determinar las relaciones que vinculan los valores de los diferentes indicadores diseñados para controlar los objetivos estratégicos, así como facilitar la interpretación lógica de resultados. Para incorporar con éxito los objetivos estratégicos del puerto inteligente en la estrategia de la empresa u organización, es necesario establecer conexiones entre estos objetivos estratégicos y el resto de objetivos del mapa estratégico.

Los vínculos más evidentes asociado a los objetivos de puerto inteligente son la minimización del coste de las operaciones; objetivo estratégico incluido dentro de la perspectiva financiera y directamente relacionado con la estrategia de productividad, y la conexión con las proposiciones de valor de la perspectiva cliente y los objetivos considerados dentro de la línea estratégica de integración en el entorno.

Una vez integrados los objetivos asociados al puerto inteligente como parte de los objetivos estratégicos de la organización, el siguiente paso consiste en la **definición de los indicadores estratégicos** que mejor reflejen la consecución de los mismos y que sirvan como herramienta de control y de toma de decisiones a la hora de realizar inversiones o modificaciones en sus operativas.

Reflejar el grado de cumplimiento de un objetivo a través de un único indicador puede no aportar suficiente información y, en consecuencia, dar lugar a interpretaciones erróneas. Por ello, se necesita una serie de indicadores secundarios que respalden y, en su caso, expliquen los resultados obtenidos con los indicadores principales.

FIGURA 8 • MAPA ESTRATÉGICO

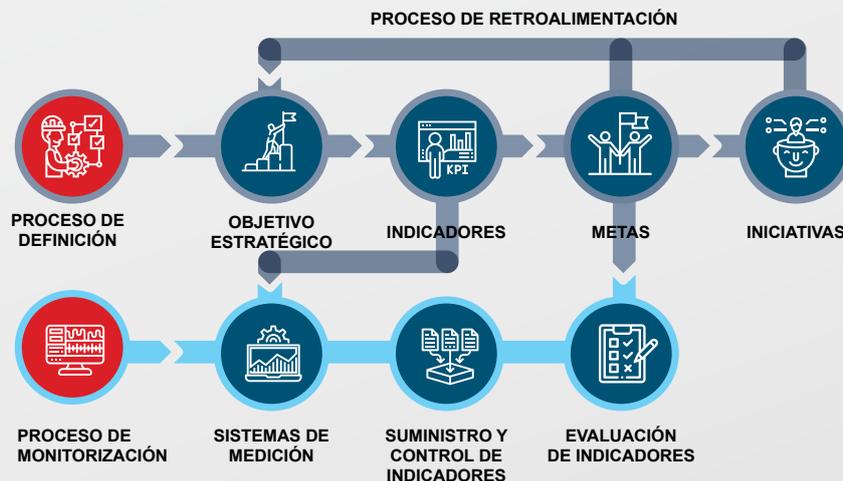


La **monitorización y control** es el proceso que permite medir los resultados de las iniciativas propuestas, y evaluar su contribución al grado de cumplimiento de los objetivos planteados. Esta evaluación debe permitir detenerse en un cierto momento y comparar el objetivo planteado con la realidad de acuerdo con los resultados obtenidos.

Para poder llevar a cabo este proceso es necesario disponer en primer lugar de sistemas y tecnologías digitales que permitan obtener, registrar, procesar y analizar los datos de una forma sistemática y evaluar el grado de cumplimiento con el objetivo estratégico de forma fiable, real y útil para la organización. Los datos que alimentan a los indicadores pueden obtenerse en su mayoría a través de sensores y dispositivos instalados en elementos físicos o a partir de los registros existentes en sistemas de información.

El CMI constituye un importante instrumento de síntesis y control que permite a la empresa conocer el estado de cada indicador y compararlo con su meta para medir el impacto que las iniciativas puestas en marcha están teniendo en la consecución del objetivo estratégico, así como detectar deficiencias y reformularlas. Como se muestra en la Figura 9, este proceso de retroalimentación, se puede definir como un proceso continuo que alcanza los niveles más altos de la planificación estratégica a partir de los resultados a nivel operativo.

FIGURA 9 • PROCESO DE RETROALIMENTACIÓN DEL CUADRO DE MANDO INTEGRAL



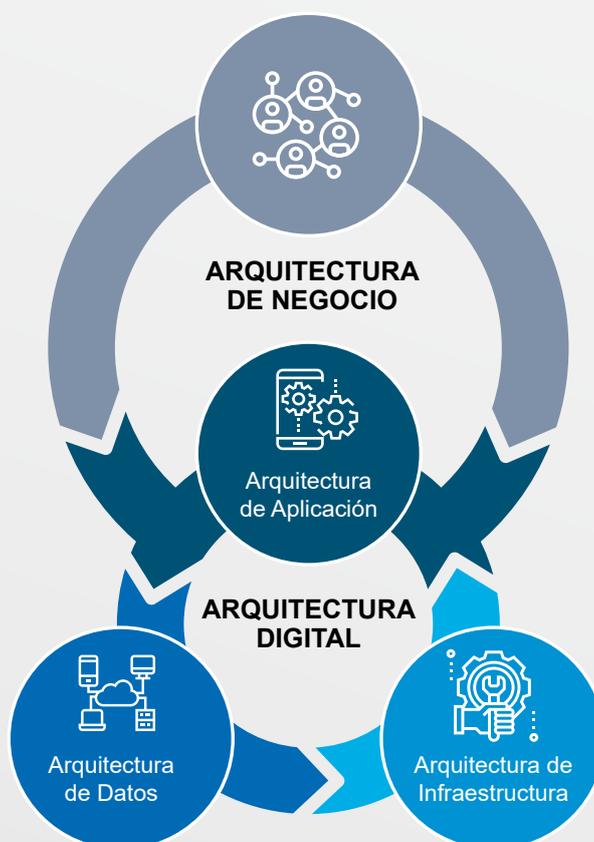
3.3 LA ARQUITECTURA EMPRESARIAL

La arquitectura empresarial es una práctica de diseño, planificación e implementación que tiene la intención de integrar los procesos de negocio y la infraestructura TI. Como se muestra en la Figura 10, la arquitectura empresarial reúne los procesos de negocio, la información y el rendimiento empresarial de la organización con la arquitectura digital, que comprende las aplicaciones, la tecnología y la arquitectura de datos.

La **arquitectura de los datos** define los activos de datos lógicos y físicos de la organización, así como los recursos de administración de datos (bases de datos, entidades, flujos de información). La **arquitectura de la infraestructura** especifica el software lógico, el hardware y las capacidades digitales que se requieren para soportar el despliegue de los servicios empresariales, los datos y las aplicaciones. Incluye centros de procesamiento de datos y servicios en la nube, middleware, redes, comunicaciones, dispositivos, sensores, sistemas físicos cibernéticos, computadoras personales, PDAs, tablets o cualquier otro recurso digital. Por último, la **arquitectura de aplicaciones** comprende las aplicaciones desplegadas en la organización y sus relaciones con los procesos empresariales básicos. En la mayoría de los casos, las organizaciones no tienen una sola aplicación integrada sino un conjunto de aplicaciones que necesitan ser integradas para llevar a cabo los procesos de negocio. La integración de aplicaciones puede lograrse utilizando estrategias de Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) y la integración de aplicaciones empresariales (EAI).

La ejecución de la **estrategia digital** estará impulsada por la **arquitectura empresarial**, apoyada por una **arquitectura orientada a servicios** para asegurar la interoperabilidad de sus componentes.

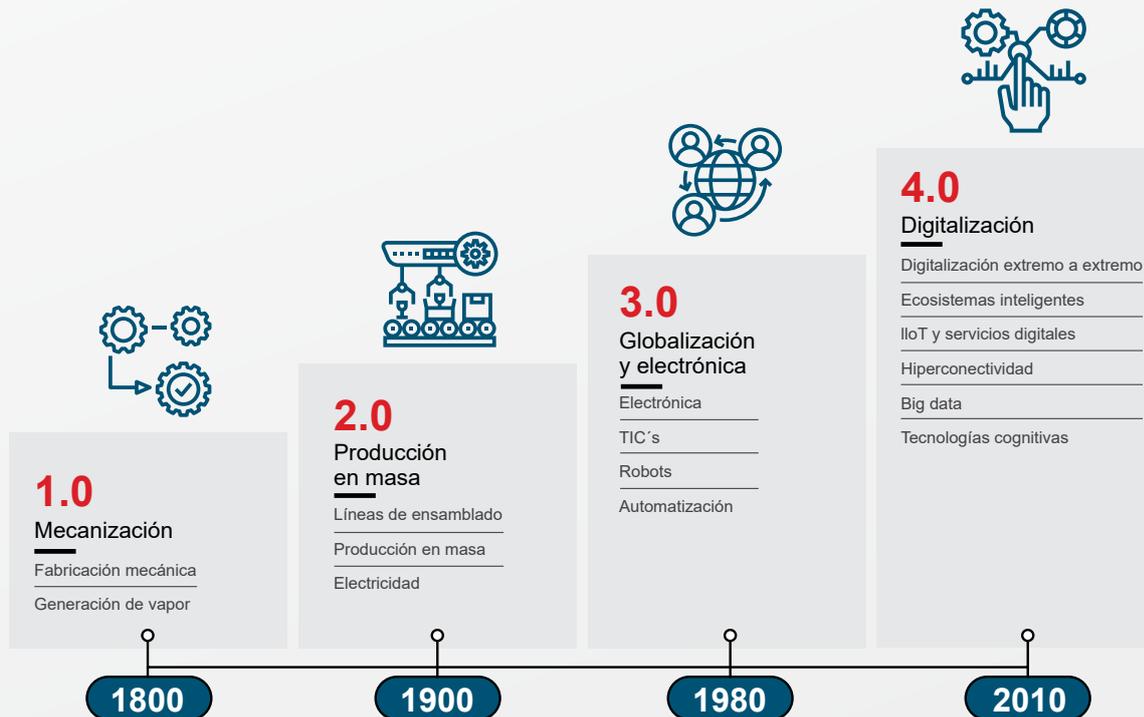
FIGURA 10 • COMPONENTES DE LA ARQUITECTURA EMPRESARIAL



4 • INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

La industria ha ido evolucionando al tiempo que lo ha hecho la tecnología dando lugar a cuatro revoluciones industriales. Las tres primeras revoluciones industriales (fabricación, producción en masa y globalización) fueron un proceso de casi dos siglos, pero a partir de los 80 del pasado siglo el proceso se ha acelerado con la electrónica, las tecnologías de la información y la automatización hasta el punto que en menos de cuarenta años ya nos encontramos en la cuarta revolución industrial o industria 4.0 (Figura 11).

FIGURA 11 • LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA



La cuarta revolución industrial es considerada como el próximo gran avance disruptivo en la productividad y el estilo de vida de la gente, tal y como sucedió con las anteriores revoluciones industriales. Dicha etapa promueve la transformación digital de la industria a través de la introducción de tecnologías que apoyan la fusión del mundo físico (dispositivos, materiales, productos, equipos e instalaciones) con el mundo digital. Gracias al uso de estas soluciones tecnológicas, la industria 4.0 facilita la interconexión y digitalización de la actividad productiva a través de la integración técnica de los sistemas ciberfísicos¹⁰ en los entornos de fabricación y logística, y la plena explotación de Internet en los procesos industriales. Esta conexión permitirá que los dispositivos y los sistemas industriales funcionen y creen, junto con otros sistemas, la Industria Inteligente.

Dentro de este contexto, las fábricas y puertos inteligentes están llamados a jugar un papel fundamental dentro de la transformación digital de la industria 4.0 y las cadenas de suministro conectadas. Como parte del proceso de digitalización, dichos emplazamientos crearán y emplearán nuevos productos y servicios inteligentes, nuevas soluciones tecnológicas y sofisticadas aplicaciones digitales.

¹⁰ Los sistemas ciberfísicos son una nueva generación de sistemas donde las tecnologías de computación, comunicaciones y control se encuentran estrechamente vinculadas permitiendo la unión del mundo físico y digital.

4.1 PRODUCTOS Y SERVICIOS INTELIGENTES

Los productos inteligentes se caracterizan por tener capacidades de autogestión y comunicación que ofrecen nuevas propuestas de valor y modelos de negocio a través de una mejora significativa en la experiencia de usuario e interactividad con los clientes. Dichos productos son **conscientes** del entorno y del propio producto mediante la incorporación de sensores, herramientas de computación y control, y sistemas ciberfísicos, que les permiten ser **inteligentes**, estar **conectados**, y ser sensibles al cambio del entorno.

La conectividad y la comunicación constante de datos, unida a herramientas de análisis potentes y ergonómicas, proporcionan las bases de una nueva oferta de **servicios inteligentes**, permitiendo optimizar los modelos de operación de los servicios existentes. Los servicios inteligentes serán un factor diferencial en un entorno competitivo dentro de la industria 4.0.

Otro componente fundamental dentro de la industria 4.0 son las **cadena de suministro** conectadas, las cuales permitirán a las empresas generar valor a través de la transparencia y automatización de procesos. Para gestionar la creciente complejidad de las cadenas de suministro, se necesitará vincular los flujos físicos con las plataformas digitales. Para ello se podrán crear imágenes virtuales de las actividades de la cadena que permitirán monitorizar todos los flujos de información y eventos en tiempo real, ofreciendo visibilidad, colaboración y capacidades de aprendizaje para el soporte a la toma de decisiones y el control autónomo. A esta fase operacional se le conoce como torre de control de la cadena de suministro (supply chain control tower).

4.2 MACROTENDENCIAS Y TECNOLOGÍAS PARA EL PUERTO INTELIGENTE

Tras la irrupción de la era del **Internet de la Información** y la posterior aparición del **Internet de los Servicios**, la evolución tecnológica se encuentra actualmente inmersa en un nuevo proceso de innovación, el cual se encuentra directamente relacionado con la aparición de la **Internet de las Cosas** y la **Internet del Valor**.

En el puerto inteligente, encontramos un conjunto de tecnologías digitales emergentes que están liderando la innovación y la transformación digital de productos, servicios, procesos, marketing, ventas y negocios en cinco grandes ámbitos o tendencias:

•Digitalización:

Con el fin de reemplazar la ejecución de operaciones terrestres y marítimas a través de procesos manuales y/o tecnológicamente rudimentarios, algunos de los principales puertos a nivel internacional han comenzado a desarrollar una estrategia más eficiente, basada en el principio de digitalización y gestión de la información. La información es un activo muy importante que puede generar grandes eficiencias si se trata y se gestiona de forma adecuada. Esta particularidad cobra especial sentido en un entorno como el portuario, donde se generan y transmiten un gran número de flujos de información relacionados con procesos como la carga y descarga de contenedores, la monitorización de sensores para la medición de emisiones, la monitorización de espacios en el muelle, etc. Dentro de este proceso de digitalización, los puertos hiperconectados necesitan utilizar plataformas digitales, las cuales permiten orquestar un gran conjunto de operaciones relacionadas con la Industria 4.0, permitiendo a clientes y negocios conectarse y comunicarse con los distintos proveedores de servicios a través de un canal de comunicación digital. Complementariamente, la estrategia de digitalización basa su funcionamiento en la incorporación otras soluciones tecnológicas como el Big Data, Inteligencia Artificial, Blockchain o el Cloud Computing.

•Automatización y Robotización:

Dentro del contexto de la Industria 4.0, la correcta automatización del ámbito industrial está llamada a revolucionar la cadena de producción de bienes y servicios a través de la generación de mayores eficiencias y una mejor gestión de los recursos. Como principales actores de este proceso, la aparición de nuevas tecnologías como el 5G y el desarrollo del Internet de las Cosas Industrial (IIoT) prometen jugar un papel fundamental en la generación de información y automatización de los puertos a través del desarrollo de sistemas ciberfísicos (CPS). Los sistemas ciberfísicos y el resto de maquinaria alojada en las terminales serán alimentados por energía eléctrica y otras fuentes renovables, dando pie a una gran reducción en los niveles de combustible y en los costes de mantenimiento de la maquinaria. La unión de la automatización y robotización al proceso de digitalización puede contribuir directamente a incrementar la eficiencia del grueso de procesos logístico-portuarios.

•Nuevos Modelos de Negocio:

El correcto desarrollo de los procesos de digitalización y automatización supondrá la apertura de un amplio rango de nuevos modelos de negocio basados en la compartición de información y recursos a través de la componente tecnológica. En concreto, la aparición de tecnologías como el Blockchain se adivina como un factor clave en la descentralización de los flujos de información relacionados con transporte y logística, dando pie a la aparición de nuevos modelos donde los gestores portuarios y los clientes creen un valor añadido. Dentro del modelo portuario, el Blockchain busca explotar un modelo de colaboración vertical, horizontal y geográfica gracias a la compartición de la información logística y de transporte. En particular, la aplicación de dicha tecnología al servicio de trazabilidad de la carga y de los contenedores para importadores y exportadores está llamada a mejorar el seguimiento y la visibilidad en tiempo real de las mercancías, así como la previsión de su movimiento en la cadena logística. Este nuevo modelo permitirá aumentar el rendimiento y los beneficios económicos, y reducir la congestión de los ciclos de trabajo, los costes y las emisiones de gases efecto invernadero.

•Seguridad:

El pronosticado crecimiento de la actividad comercial y el aumento de la cantidad de datos e información a intercambiar en los Smart Ports hace que el riesgo a sufrir ataques de tipo físico y cibernético sea

cada vez mayor. Por otro lado, el transporte y la manipulación de mercancías peligrosas incrementa los riesgos de posibles accidentes o negligencias a la hora de realizar las labores de carga y descarga. Estos hechos hacen patente la necesidad un sistema de seguridad y protección óptimo para puertos y embarcaciones tanto en el segmento físico como virtual. La implementación de la tecnología del Internet de las Cosas permitirá establecer un control total acerca de los activos físicos del puerto bajo el paradigma de Industria 4.0. Por su lado, el uso tecnologías de acceso fijo y radio como la fibra óptica, TETRA, LTE o 5G permitirá garantizar grandes anchos de banda así como una disponibilidad y fiabilidad total en los distintos elementos de vigilancia físicos como cámaras, radares y drones, los cuáles son empleados para realizar una vigilancia del segmento terrestre, marítimo y aéreo. Respecto al segmento virtual, los sistemas de ciberseguridad deberán garantizar la protección de todo tipo de datos relacionados con los trabajadores y sistemas de forma rápida y eficiente. Para ello, dichos sistemas integrarán el uso de distintos mecanismos complementarios entre sí como firmas y certificados digitales, claves públicas y privadas, sistemas de encriptación y autenticación, y redes virtuales privadas. Además, será necesaria la integración de un Sistema de Alerta Temprana frente a ciberamenazas.

•Energía y Medio Ambiente:

La reducción del consumo energético y el impacto medioambiental es uno de los principales objetivos dentro de la revolución tecnológica portuaria, la cual busca convertir los puertos en centros comerciales y económicos, eficientes y sostenibles. La introducción de nuevas tecnologías como el IoT está llamada a permitir una gestión ambiental más eficiente del transporte, evolucionando hacia un modelo sostenible como parte del objetivo de descarbonización de los puertos. El cambio hacia un modelo eléctrico automatizado irá seguido de la introducción de combustibles alternativos como los gases naturales licuados o el uso de energías renovables como la eólica o la undimotriz, las cuales permitirán la evolución hacia un modelo de bajas emisiones de gases de efecto invernadero. El desarrollo de Smart Grids¹¹ permitirá explorar, por ejemplo, nuevos sistemas de acumulación o almacenamiento de energía para el uso de excedentes de electricidad y su posterior conversión en hidrógeno. Complementariamente, se implementarán distintos sistemas de monitorización, gestión energética y de los distintos elementos contaminantes del aire, así como un sistema de gestión del tráfico.

Dentro de estos ámbitos existen múltiples soluciones tecnológicas destinadas a cubrir distintas funcionalidades dentro de los Puertos Inteligentes. En concreto, las tecnologías identificadas son las siguientes:

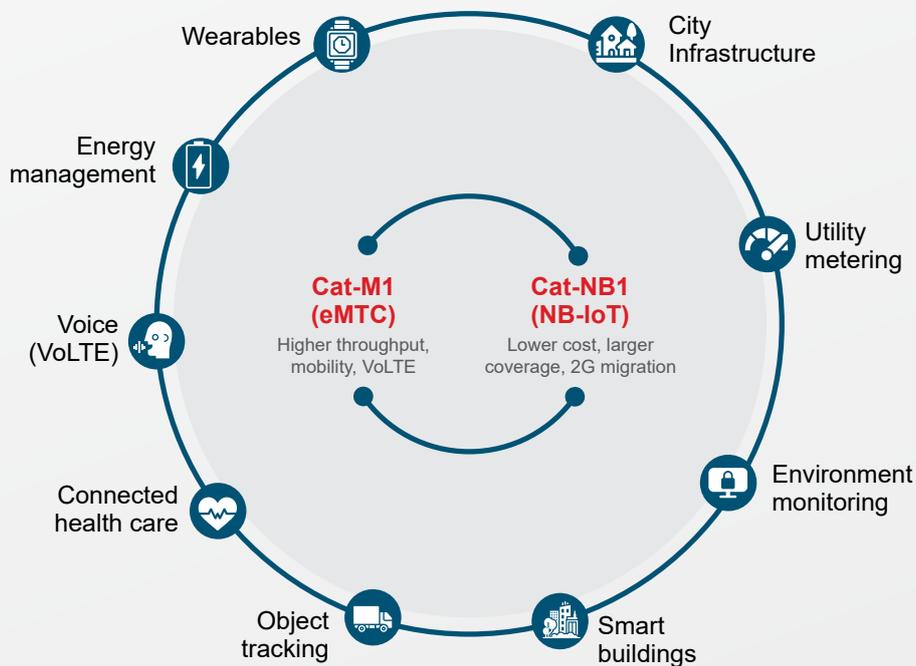
¹¹ Red eléctrica que integra de manera inteligente a generadores y consumidores con el fin de conseguir un suministro eléctrico, seguro y sostenible.

4.2.1 • INTERNET DE LAS COSAS INDUSTRIAL (IIOT)

El Internet de las Cosas (IoT) es el nombre bajo el cual se engloba el conjunto de tecnologías y aplicaciones diseñadas para interconectar e intercomunicar todo tipo de dispositivos, objetos y máquinas de forma segura a través del protocolo de comunicaciones IP.

Dentro del ámbito industrial, la tecnología IoT, conocida como el IoT Industrial o IIoT, permite conectar un gran número de dispositivos tales como sensores, actuadores y máquinas, los cuales sirven para captar y recoger información que es posteriormente procesada y analizada para su aplicación en distintas labores industriales. En concreto, las principales soluciones IIoT actualmente son LTE-M, NB-IoT, LoRa, Sigfox, Zigbee y las redes en malla (meshed networks). Gracias a su conectividad e interoperabilidad, estas soluciones IIoT están llamadas a tener un papel fundamental dentro de distintas operaciones industriales como la fabricación, generación y distribución de energía, el transporte, la logística, la comunicación entre empresas y la gestión y monitorización de vehículos y flotas (Figura 12).

FIGURA 12 • APLICACIONES DE LTE-M y NB-IoT



Dentro de los puertos, la integración de la tecnología del IIoT está destinada a favorecer la interconexión de todo tipo de objetos y sensores con los medios de transporte y el equipamiento utilizados en el entorno portuario, facilitando la operación inteligente de las labores de carga, descarga y transporte. En concreto, el Internet de las Cosas Industrial se emplea para realizar cuatro operaciones básicas dentro de los puertos como son: la sensorización, el posicionamiento, la interconexión entre dispositivos y la monitorización. Gracias a la correcta ejecución estas operaciones, la tecnología IIoT puede optimizar distintos aspectos relacionados con la planificación de recursos, la gestión de activos tecnológicos, la medición y evaluación del impacto medioambiental o el desarrollo de un sistema de seguridad y protección dentro del puerto y la terminal.

En los sistemas portuarios las funcionalidades IIoT pueden ser también cubiertas por el sistema SCADA, el cual puede monitorizar y controlar los distintos procesos industriales de infraestructura, basados en instalaciones físicas.

4.2.2 • TECNOLOGÍAS DE ACCESO FIJO E INALÁMBRICO

Las tecnologías de acceso fijo e inalámbrico permiten facilitar el envío de la información generada por el conjunto de dispositivos, máquinas y usuarios dentro industrias y puertos.

El uso de soluciones de acceso fijas como el ADSL o la fibra óptica está ampliamente extendido dentro del entorno portuario con el fin de dar acceso a los servicios de Internet e implementar redes de área local y extendida, las cuales interconectan servidores y equipos informáticos. Gracias al uso de estas tecnologías, los equipos pueden gozar de un ancho de banda y calidad de servicio aceptables de cara al envío de todo tipo de información: voz, datos, vídeo, etc.

Las tecnologías de acceso inalámbrico son soluciones ampliamente utilizadas dentro de los puertos de cara a facilitar el envío de información a través de señales radioeléctricas, ofreciendo una mayor accesibilidad que permite interconectar los distintos dispositivos dentro de las redes de sensorización, monitorización y vigilancia. Dentro de este tipo de soluciones se distingue entre tecnologías inalámbricas de área local y extendida, tecnologías inalámbricas para situaciones críticas y tecnologías celulares.

Las tecnologías inalámbricas de área local y área extendida son soluciones ampliamente extendidas dentro de numerosos entornos cotidianos e industriales. La tecnología WiFi es la solución más empleada a la hora de dar acceso grandes números de usuarios en redes de área local gracias a su fácil implantación y bajo coste. Por su parte, WiMax es una tecnología inalámbrica de acceso a redes de área amplia o extendida (WAN) que permite configurar distintas topologías de red como enlaces punto a punto, punto a multipunto y redes en malla. WiMax permite incrementar la fiabilidad de la red y reducir el consumo energético gracias al establecimiento de enlaces de menor alcance entre los distintos dispositivos.

Dentro de las tecnologías inalámbricas empleadas para dar servicio en situaciones críticas destaca TETRA (Terrestrial Trunked Radio), el cual se define un estándar de radio digital usado para realizar envíos de voz y pequeños volúmenes de datos e información de forma segura, con total confidencialidad e integridad. Gracias a su seguridad, cobertura y robustez, la tecnología TETRA es ampliamente utilizada para establecer comunicaciones entre distintos organismos de la seguridad pública como ambulancias, bomberos, defensa civil, autoridades civiles y portuarias, etc.

Las tecnologías de acceso celular permiten desplegar redes de pequeño y gran tamaño dentro del ámbito portuario gracias a los conceptos de división en celdas y al reúso de frecuencias. Dentro de este tipo de soluciones, las tecnologías más novedosas son: LTE y 5G New Radio.

LTE (Long Term Evolution) es un estándar de comunicaciones inalámbricas punto a punto definido dentro del marco de la cuarta generación de sistemas de comunicaciones móviles (4G). La última versión de LTE, denominada LTE Advanced Pro, es capaz de transmitir servicios de banda ancha sobre tecnología móvil, ofreciendo grandes velocidades de transmisión en distintas condiciones de movilidad, cobertura, latencia y densidad de dispositivos. La tecnología LTE ha sido ampliamente desplegada en un gran número de escenarios industriales como fábricas y puertos. Además, puede ser combinada con otras soluciones tecnológicas como TETRA, para establecer comunicaciones críticas con altos niveles de disponibilidad y fiabilidad.

5G New Radio (5G NR) es el actual estado del arte de tecnologías celulares para conexiones punto a punto. Gracias a su flexibilidad, escalabilidad y eficiencia, la solución 5G permite establecer comunicaciones de banda ancha sobre tecnología móvil, comunicaciones ultra fiables con baja latencia para el diseño de sistema de emergencias y alertas, o comunicaciones entre un gran número de dispositivos, vehículos y objetos, permitiendo la implantación del Internet de las Cosas, el control de maquinaria industrial de manera remota y el principio de conducción autónoma. Dentro del ámbito portuario, la tecnología 5G aspira a mejorar las condiciones de capacidad, conectividad y posicionamiento de las operaciones logísticas y operacionales llevadas a cabo diariamente, proporcionando un acceso fiable en tiempo real y un elevado nivel de seguridad entre todos los agentes del puerto.

4.2.3 • AUTOMATIZACIÓN

La automatización industrial engloba al conjunto de soluciones tecnológicas que permiten emplear elementos o sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos, electrónicos o computarizados para controlar máquinas y procesos, reduciendo así la intervención humana y facilitando un mayor control de los equipos y procesos implicados. Dentro del ámbito logístico-portuario, la automatización puede aplicarse tanto a terminales como a los vehículos marítimos y aéreos empleados en todo el grueso de operaciones logístico-portuarias.

Las terminales automatizadas se definen como el conjunto de terminales portuarias de contenedores que automatizan los movimientos en patio y en la interconexión muelle-patio. En función de la parte de la terminal a automatizar, se puede distinguir entre: la automatización de los sistemas de acceso en las puertas de acceso a las terminales, la automatización de los patios para la realización de las operaciones de almacenamiento y distribución de cargas, y la automatización de las grúas del muelle empleadas en las labores de carga y descarga de contenedores.

FIGURA 13 • CONTROL REMOTO DE EMBARCACIONES



Por su parte, la automatización de vehículos marítimos y aéreos engloba principalmente a embarcaciones y drones. El diseño de embarcaciones guiadas por control remoto o de forma autónoma está llamado a revolucionar el tráfico marítimo gracias al incremento de la eficiencia de las operaciones y a la reducción de costes y el número de accidentes (Figura 13). Por su parte, el uso de drones autónomos puede facilitar la realización de múltiples tareas logísticas, de vigilancia y de seguimiento de manera remota gracias al incremento de la movilidad y accesibilidad, y a la reducción de costes humanos y logísticos.

4.2.4 • BIG DATA

El Big Data se define como la vertiente tecnológica dedicada al diseño y ejecución del conjunto de arquitecturas y tecnologías de computación empleadas para almacenar y procesar grandes cantidades de datos e información que exceden las capacidades de procesamiento de los sistemas convencionales.

En el ámbito industrial, la información capturada por los sensores y dispositivos puede ser procesada en tiempo real de forma masiva gracias al uso de la tecnología Big Data, la cual facilita el almacenamiento, compartición y monitorización de todo tipo de datos y estadísticas (Figura 14). Un ejemplo del uso del Big Data en la industria es el concepto de gemelo digital, el cual se define como la representación o réplica digital de un activo físico, típicamente compuesto por un conjunto de variables que agregadas y procesadas describen y predicen el comportamiento de los activos industriales a monitorizar.

FIGURA 14 • INTERACCIÓN TECNOLÓGICA DEL BIG DATA



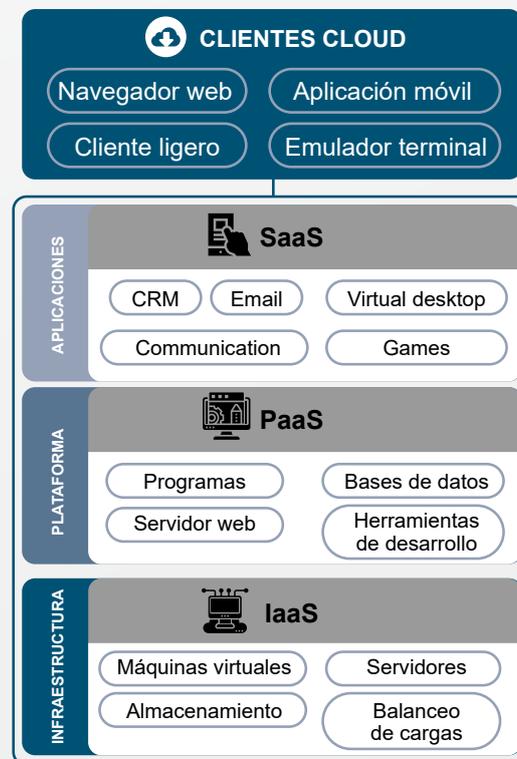
Dentro del ámbito portuario, la integración de la tecnología Big Data y de los gemelos digitales está llamada a transformar un gran número de operaciones. En concreto, el almacenamiento y procesamiento en tiempo real de los distintos flujos de información generados en las redes logísticas, de sensorización y posicionamiento puede facilitar la creación de modelos multidimensionales que posteriormente ayuden a optimizar la cadena de suministro del puerto, reduciendo retardos y congestiones, e incrementando la eficiencia de los distintos agentes e instalaciones.

4.2.5 • ALMACENAMIENTO VIRTUAL (AV)

El crecimiento de los segmentos industriales y comerciales ha supuesto la migración de la mayoría de sistemas de gestión, almacenamiento y procesado de la información digital hacia un modelo de almacenamiento virtual, en el que se busca facilitar el acceso a múltiples servicios de forma distribuida y escalable. Dentro de este modelo, destacan algunas soluciones tecnológicas como los Contenedores Digitales, el Cloud Computing o el Edge Computing.

Los Contenedores Digitales son la solución tecnológica empleada para trasladar y ejecutar aplicaciones o servicios software de forma independiente y aislada, como si de pequeñas máquinas virtuales se trataran. Los contenedores encapsulan las aplicaciones software, pudiendo migrarlas a cualquier sistema operativo de manera portable y flexible. Dentro de los sistemas portuarios, el uso de contenedores digitales es especialmente útil de cara al traslado y ejecución de aplicaciones basadas en microservicios como parte de los Sistemas de Gestión de la Comunidad Portuaria.

FIGURA 15 • PILA DE SERVICIOS EN EL CLOUD COMPUTING



El Cloud Computing o Informática en la Nube es el concepto utilizado para describir la entrega de servicios computacionales como infraestructuras (servidores y almacenamiento), plataformas (bases de datos y programas), y aplicaciones y otros recursos, a través de Internet (Figura 15). Gracias a su flexibilidad y escalabilidad, el uso del Cloud Computing se ha extendido considerablemente en el segmento logístico-portuario, permitiendo a empresas y entidades consumir servicios y aplicaciones con baja latencia sin invertir en infraestructuras.

Complementariamente, debido al incremento del tráfico experimentado en los segmentos centrales de la red, la mayoría de entidades industriales y portuarias están comenzando a apostar por la filosofía Edge Computing, la cual se basa en la computación y almacenamiento de parte de los datos cerca del usuario final. Dentro del entorno portuario, el Edge Computing propone un modelo distribuido a través del cual se facilita el acceso y el procesado en tiempo real de la información generada en las embarcaciones. De esta manera, se reducen la congestión en los nodos centrales, obteniendo así una reducción de la latencia en operaciones, en el ancho de banda requerido y en el consumo energético.

El Cloud Computing y el Edge Computing pueden emplearse simultáneamente dotando al sistema de flexibilidad y accesibilidad tanto en el segmento central como en el segmento final de la red.

4.2.6 • BLOCKCHAIN

El Blockchain es una solución tecnológica englobada dentro de la rama de Tecnologías de Registros Distribuidos (DLT) que se emplea para realizar transacciones digitales en tiempo real de forma segura y distribuida. Gracias al concepto de compartición del valor (activos tangibles e intangibles) de forma digital y descentralizada, el Blockchain tiene múltiples aplicaciones en distintos sectores industriales y comerciales.

Dentro del ámbito portuario, el Blockchain permite a las distintas entidades pertenecientes a las cadenas de suministro y logística tener información fiable del resto de agentes a la hora de tomar decisiones, ejecutar operaciones o desarrollar sus actividades, con el objetivo de ganar productividad, reducir costes, aumentar la fiabilidad, y facilitar la conformidad entre clientes y proveedores.

Entre las aplicaciones más destacadas en dicho sector se encuentra la aplicación de la tecnología Blockchain al servicio de trazabilidad de contenedores, la cual permite incrementar la visibilidad del flujo de operaciones de importación y exportación de contenedores que tiene lugar a lo largo de la cadena logística.

4.2.7 • INTELIGENCIA ARTIFICIAL (AI) Y MACHINE LEARNING (ML)

La Inteligencia Artificial (IA) es la rama de la ciencia informática centrada en el desarrollo y combinación de algoritmos creados en máquinas y programas para aprender y establecer relaciones y observaciones comúnmente reflejadas en el razonamiento humano. Dentro del ámbito de IA se engloba la rama del Machine Learning (ML), la cual es concebida para el desarrollo de algoritmos que permiten detectar automáticamente patrones en grupos de datos e información suministrados a modo de ejemplo, para posteriormente extrapolar esos comportamientos de cara a realizar una predicción y una toma de decisiones ante situaciones futuras.

Dentro del ámbito logístico-portuario, el ML está llamado a ser un gran potenciador del conjunto de sistemas de gestión y procesado masivo de la información empleados en los segmentos terrestres y marítimos. En el segmento terrestre de los puertos, el ML puede hacer uso de la información obtenida por sensores, actuadores y tecnologías móviles de cara a entender y coordinar los flujos de tráfico. En concreto, el ML puede ayudar a ejecutar las labores de predicción del estado del tráfico y del tiempo de espera y entrega de los camiones a la entrada de la terminal. Por su parte, dentro del segmento marítimo, el ML puede emplearse tanto en la zona de muelles como en las terminales para conocer el tiempo que pasa un contenedor en la terminal, predecir la fecha y hora de llegada del buque o ver los patrones de carga y descarga de las embarcaciones.

El uso del ML en el entorno portuario puede significar una reducción del número de operaciones a realizar en la terminal, y por consiguiente un aumento de la eficiencia y una reducción de la cantidad de emisiones y costes.

4.2.8 • REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA (VR Y AR)

La Realidad Virtual y Realidad Aumentada son tecnologías que combinan imágenes en tiempo real de forma interactiva permitiendo al usuario percibir un grado de información virtual mayor de manera total o parcial. En la Realidad Virtual, el grado de información virtual es total mientras que, en la realidad Aumentada, simplemente se complementa la información real que percibe el usuario.

Gracias al incremento y combinación de información en tiempo real, la Realidad Virtual y Realidad Aumentada se consideran como herramientas altamente útiles en entornos laborales de cara a dar soporte o complementar la información que los trabajadores perciben en tiempo real, así como para alertar de posibles situaciones de peligro.

Dentro del ámbito portuario, estas tecnologías pueden ser aplicadas en los segmentos terrestres y

marítimos para dar soporte o complementar la información que los trabajadores perciben en tiempo real, para visualizar las instalaciones portuarias o para alertar de posibles situaciones de peligro o emergencia.

El uso de todas estas soluciones tecnológicas en los puertos puede traducirse en la generación de una mayor productividad y rentabilidad a nivel comercial que contribuirá al desarrollo de las entidades y empresas logístico-portuarias.

4.2.9 • IMPRESIÓN 3D Y FABRICACIÓN ADITIVA (FA)

La impresión 3D es el proceso digital mediante el cual se obtienen objetos de tres dimensiones basados en un diseño, modelado y fabricación de acuerdo a un tamaño, forma y características específicas. Dentro del ámbito industrial o profesional, el proceso por el cual un archivo digital de un producto es convertido en un objeto físico mediante la adición de capas de material utilizando impresoras 3D se conoce como Fabricación Aditiva.

Gracias a una flexibilidad sin precedentes, la Fabricación Aditiva permite introducir y desarrollar cambios en nuevos productos de forma personalizada. La eficiencia de esta técnica conlleva una disminución del número de intermediarios y del tiempo de ejecución de las operaciones realizadas dentro de la cadena de diseño y producción, derivando así en un abaratamiento de los costes.

Dentro del ámbito portuario, la fabricación aditiva puede emplearse para desarrollar piezas u otros elementos empleados en terminales y embarcaciones, consiguiendo así una reducción en los costes de fabricación y tiempos de entrega.

4.2.10 • CONFIGURACIÓN Y GESTIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Los sistemas de configuración y gestión de las Tecnologías de la Información engloban a todo el conjunto de redes físicas y virtuales, servidores, equipos, routers, terminales, herramientas software (bases de datos, ficheros, etc.) y otros dispositivos necesarios para dar conectividad, acceso, almacenamiento y control a todos los flujos de información generados y obtenidos a través de las tecnologías citadas anteriormente.

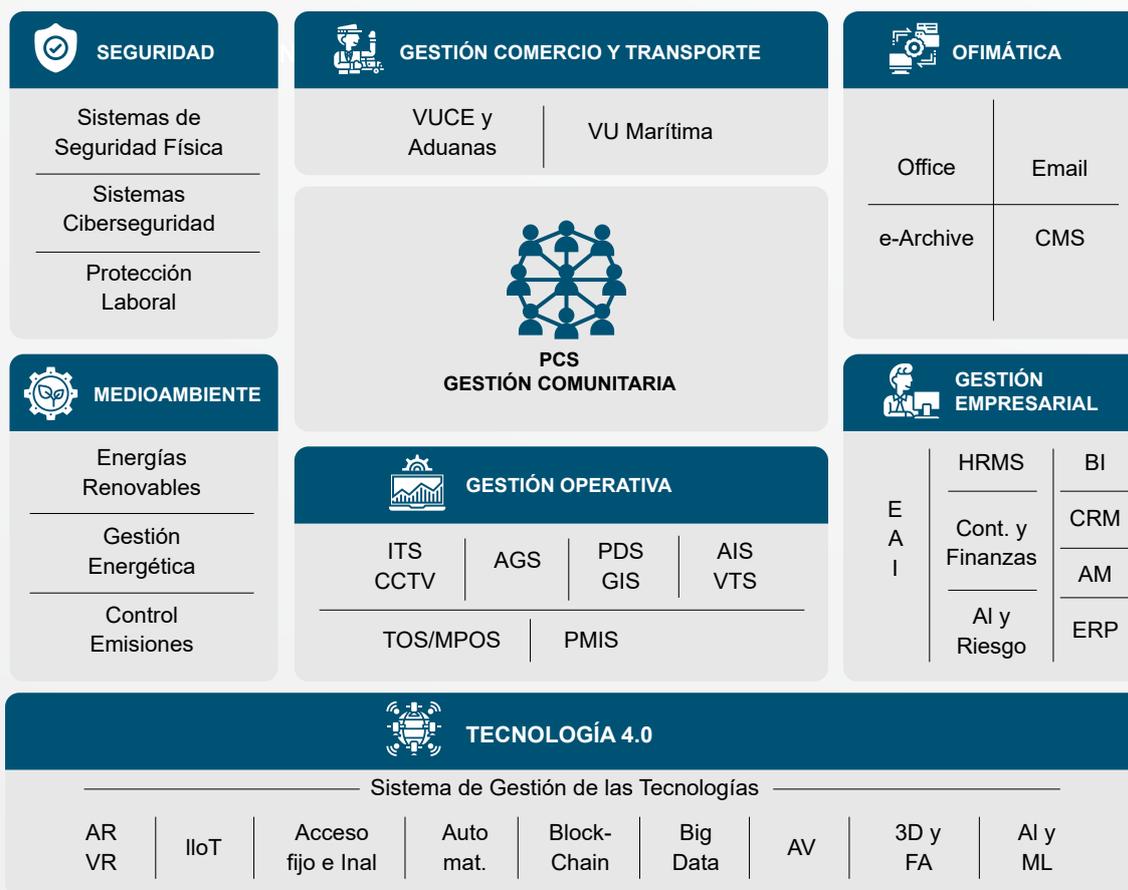
4.3 APLICACIONES INTELIGENTES EN PUERTOS

La innovación tecnológica y la especialización de las actividades portuarias tienen un impacto significativo en la industria portuaria. Todos los grandes puertos han comenzado a explorar iniciativas dirigidas a actualizar y transformarse con el objeto de crear propuestas de valor diferenciales que les ofrezcan ventajas competitivas.

Sin embargo, los puertos no funcionan con una única aplicación utilizada por una única empresa, sino que están compuestos por un amplio ecosistema de aplicaciones especializadas en las diferentes actividades y funciones que se desarrollan en ellos. Estas aplicaciones pueden ser utilizadas por una o varias organizaciones dependiendo de la configuración de cada puerto.

La Figura 16 resume el ecosistema de aplicaciones que se manejan en los puertos e instalaciones portuarias en las que la aplicación de tecnologías emergentes para un puerto inteligente puede suponer un cambio diferencial en los servicios proporcionados por el puerto a clientes, usuarios, economía y ciudadanos.

FIGURA 16 • SISTEMA DE APLICACIONES PARA EL ENTORNO PORTUARIO



Dentro de las aplicaciones existentes en los entornos portuarios encontramos las aplicaciones que son comunes a todas las organizaciones y encargadas de gestionar las funciones de back-end para la gestión empresarial y la gestión de la oficina. Dentro de los **sistemas de gestión empresarial** encontramos aplicaciones tales como las dedicadas a la gestión de los recursos humanos (HRMS), la contabilidad y las finanzas, la gestión y control de activos e inventarios, la gestión de clientes, la inteligencia de negocio, la auditoría interna o la gestión de riesgos. En numerosos casos, todas estas funciones pueden venir cubiertas a través de sistemas de planificación de recursos empresariales o ERP.

Otro conjunto de aplicaciones de back-end comunes a todas las organizaciones son las **aplicaciones ofimáticas**, tales como Aplicaciones Office (procesadores de texto, hojas de cálculo, herramientas de presentación multimedia, bases de datos), sistemas de archivado electrónico (eArchive), sistema de gestión de contenidos y sitios web (CMS), programas de e-mail, sistemas de videoconferencia y mensajería instantánea, etc.

Por su parte y en la gestión de las actividades del front-end encontramos distintos sistemas para cubrir distintas funciones. El uso de **Sistemas de Gestión del Comercio y Transporte** es fundamental para cubrir la función regulatoria que se requiere a la hora de gestionar y automatizar las operaciones de comercio exterior en los emplazamientos portuarios. Estos sistemas tienen como objetivo garantizar la circulación segura de mercancías y medios de transporte a través de las fronteras mediante la gestión de la información que involucra a múltiples autoridades y entidades como la autoridad portuaria, la autoridad marítima, las aduanas, los organismos de inspección y el conjunto de servicios de control en frontera. Dentro de este ámbito, las entidades disponen de distintos sistemas de gestión de las operaciones basados en sistemas de ventanilla única y de declaración electrónica como: **los sistemas de Ventanilla Única de Comercio Exterior (VUCE)**, los cuales permiten a los distintos organismos gubernamentales de protección de fronteras recibir la solicitud de licencias y otros documentos en formato electrónico a la hora de realizar operaciones de comercio exterior; **los Sistemas Aduaneros**, los cuales comprenden todo el conjunto de aplicaciones empleadas para realizar las declaraciones aduaneras necesarias en los flujos de comercio exterior; y **los Sistemas**

de **Ventanillas Únicas Marítimas (VU)**, que permiten realizar todos los trámites y formalidades requeridas a la entrada, salida o estancia de los buques en los emplazamientos portuarios.

Para cubrir las funciones operativas del puerto, los sistemas de gestión operativa cobran especial importancia. Dentro del segmento portuario, **los Sistemas de Gestión Portuaria (PMIS)** son los encargados de controlar y gestionar todas las operaciones dentro de los puertos. Estos sistemas, los cuales tienen como cliente principal a la autoridad portuaria o a la correspondiente entidad gestora de la infraestructura portuaria, pueden conectarse con **los Sistemas de Identificación de Buques (AIS)**, **los Sistemas de Gestión del Tráfico Marítimo (VTS)**, otros sistemas técnico náuticos o las propias terminales portuarias. De la misma forma, **los Sistemas de Operación de Terminales**, en su vertiente **multi-propósito (MPOS)** o en la **vertiente contenedor (TOS)** son los encargados de gestionar las operaciones en el área de las terminales, tanto para controlar el tráfico de contenedores como para gestionar el movimiento de cargas desde un punto de vista multipropósito. Estos sistemas pueden conectarse con otros sistemas de monitorización y control de las operaciones como los **Sistemas de Control de Acceso automático en Puertas (AGS)**, **los Sistemas de Detección del Posicionamiento (PDS)**, **los Sistemas de Información Geográfica (GIS)** o **los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS)**.

Tanto los Sistemas de Gestión Comercial y de Transporte, y los Sistemas de Gestión Operativa estarán complementados y orquestados por los Sistemas de Gestión de la Comunidad Portuaria, el cual engloba a todos los actores involucrados en la cadena logística de un puerto, incluyendo a Autoridad Portuaria, operadores portuarios, operadores logísticos, agentes de aduanas, navieras, empresas de transporte, estaciones de carga de contenedores, etc. Los **Sistemas de Gestión de la Comunidad Portuaria**, entre los que destacan el propio **Sistema de Comunidad Portuaria o PCS**, están diseñados para permitir el envío e intercambio de información de manera instantánea entre todos los participantes de la cadena logístico-portuaria, respetando las condiciones de confidencialidad y protección requeridas en la gestión de datos personales o comercialmente sensibles.

Los PCS son plataformas electrónicas diseñadas para conectar los distintos sistemas que operan las organizaciones pertenecientes a la comunidad portuaria. Dichos sistemas facilitan el intercambio de información de manera inteligente y segura a través de un único canal de comunicación que interconecta todos los actores logísticos y de transporte, tanto públicos como privados. Gracias al uso de este canal, los PCS pueden optimizar y automatizar los distintos procesos asociados al movimiento de mercancías y contenedores, consiguiendo maximizar la eficiencia de infraestructuras y operaciones, aumentar la competitividad y el nivel de ingresos de las organizaciones, y reducir costes operativos. Complementariamente, los PCS están diseñados para coexistir y cooperar con otros sistemas como los PMIS, los TOS/MPOS o los Sistemas de Ventanilla Única.

El incremento de las actividades comerciales y operacionales en los entornos logístico-portuarios hace que la seguridad sea otro factor clave a garantizar tanto en el ámbito físico como en el virtual. Por otro lado, el aumento de la complejidad de las operaciones industriales hace que también sea necesario diseñar sistemas de protección riesgos laborales para los trabajadores. Como solución a estos riesgos, la mayoría de puertos integran Sistemas de Seguridad con componentes de carácter físico, cibernético y de protección industrial. Los **Sistemas de Seguridad Física** integran el conjunto de aplicaciones requeridas para proteger las instalaciones portuarias ante cualquier posible ataque o intrusión que conlleve la ejecución de actividades ilícitas y fraudulentas. Dichos sistemas suelen integrar distintos subsistemas como los sistemas de vigilancia CCTV, los sistemas de puertas automáticas (AGS), los sistemas de detección de presencia, los sistemas de reconocimiento de matrículas o vehículos por vídeo, los sistemas de gestión del tráfico marítimo (AIS y VTS), los sistemas de identificación personal NFC, etc. Por su parte, los **Sistemas de Seguridad Virtual o Ciberseguridad** integran el conjunto de aplicaciones y herramientas diseñadas para proteger todos los activos y usuarios integrados dentro del entorno cibernético. Dentro de estos sistemas se integran otros subsistemas como, por ejemplo: el sistema de firmas y certificados digitales, los sistemas de claves públicas y privadas, los sistemas de encriptación y autenticación o los sistemas de alerta temprana frente a ciberamenazas. Finalmente, el **Sistema de Protección Industrial y Laboral** integra el conjunto de aplicaciones diseñadas para prevenir, reducir y reaccionar ante posibles accidentes laborales que tengan lugar dentro de las instalaciones del puerto, terminales o ciudades. Los sistemas de protección industrial y laboral pueden apoyar sus operaciones en el uso de sistemas como los sistemas de control del tráfico inteligente (ITS), los sistemas de CCTV, los sistemas de identificación automática de buques (AIS y VTS), los sistemas de señalización marina (boyas, faros,

radiobalizas) o los sistemas de monitorización de la seguridad de los trabajadores. Como se puede observar, muchos de estos sistemas son comunes para la gestión de la seguridad física, industrial y laboral por lo que en distintos puertos estos dos componentes se gestionan de forma integral en un único centro de control.

Los **Sistemas de Gestión Medioambiental** integran el conjunto de aplicaciones diseñadas para garantizar la eficiencia energética y la protección del entorno marino y las costas frente a distintas amenazas como la contaminación ambiental o la contaminación acústica. Dentro de los sistemas de gestión medioambiental se incluyen herramientas dedicadas a realizar un seguimiento del consumo de energía y a la realización de un uso más eficiente e inteligente, como por ejemplo los sistemas de monitorización y predicción medioambiental o los Smart Grids. Complementariamente, se incorporan otras herramientas como las estaciones meteorológicas, los sensores de calidad del aire, los sensores de contaminación acústica, las boyas inteligentes o los sistemas de detección de contaminación que sirven para controlar la calidad del aire, el agua o los niveles de ruido. Finalmente, los sistemas de gestión medioambiental buscan la integración de un modelo eléctrico y automatizado basado en la descarbonización a través del uso de energías renovables (eólica, eléctrica, etc) y combustibles alternativos como los gases naturales licuados o el hidrógeno. Esta estrategia permite la evolución de los puertos hacia modelos de bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

5 • HOJA DE RUTA

En una época cómo la actual en la que la tecnología está en constante cambio y evolución, quedarse inmóvil supone un error que puede llegar a desembocar en muchos casos en un fracaso. Ante estos cambios, cada comunidad portuaria debe dar respuesta y adaptarse para continuar siendo competitiva, eficiente y verde.

Actualmente existen iniciativas de puerto inteligente basadas en el desarrollo e implantación de las nuevas tecnologías, pero también es necesario estructurar correctamente aquellas iniciativas que ya están en marcha, conectarlas y definir adecuadamente las actividades de soporte, la dirección y los esfuerzos necesarios para la sostenibilidad de estas iniciativas a largo plazo.

Por este motivo, en el ámbito del Manual de Puertos Inteligentes, el presente capítulo define la “Hoja de Ruta” para el desarrollo del Plan de Puerto Inteligente. Esta metodología servirá para que cada comunidad logístico-portuaria pueda analizar las tendencias del sector y contrastar su realidad, ordenar las iniciativas en marcha, establecer prioridades y definir líneas de actuación hacía el camino del puerto inteligente. El plan sirve además como punto de partida para favorecer la colaboración de todas las empresas e instituciones del clúster, creando sinergias entre ellas, promoviendo la inversión de las empresas privadas, así como favoreciendo la participación de pymes, universidades y centros de conocimiento.

Para implementar dicha metodología, la Hoja de Ruta requiere inicialmente la realización de un diagnóstico de la situación actual del clúster portuario con el fin de evaluar el grado de desarrollo tecnológico del emplazamiento portuario en términos generales (nivel macro) y posteriormente, en distintos ámbitos o materias (nivel micro). A continuación, la comunidad portuaria debe proceder a desarrollar el plan de puerto inteligente, ayudando a identificar aquellas tecnologías y proyectos que pueden tener un mayor impacto en las operaciones portuarias y en sus propios negocios. Para ello, se crean grupos de trabajo para discutir y priorizar las iniciativas. Finalmente se desarrolla la hoja de ruta a través de un plan de implementación, el cual se define a corto, medio y largo plazo. Junto a este plan se definen los KPI que contribuirán al control y seguimiento de la estrategia establecida.

5.1 DIAGNÓSTICO DE PUERTO INTELIGENTE

El proceso de transformación digital de los puertos depende de la consecución de los objetivos relacionados con cada nivel de digitalización. Dentro de cada puerto y cada miembro de su comunidad portuaria se definirá una estrategia de puerto inteligente para avanzar de forma paralela en los cuatro niveles de transformación digital definidos en el capítulo dos: transformación digital interna, puerto conectado, comunidad portuaria conectada y puerto hiperconectado. En concreto, se considera que un puerto ha alcanzado un determinado nivel de transformación digital a través de la definición de distintos objetivos y requisitos que habrán sido fijados para cada uno de los niveles de la digitalización. Dichos requisitos, los cuáles se dan en la Figura 17 y se detallan posteriormente en la Tabla 4, están directamente relacionados con el nivel de modernización y desarrollo tecnológico dentro de múltiples ámbitos (tecnológicos, operacionales, medioambientales, sociales, económicos, etc.).

Es necesario destacar que el hecho de que una organización individual se encuentre muy avanzada técnicamente no conlleva directamente a la percepción de un puerto inteligente, ya que este nivel debe considerar el funcionamiento de todo el ecosistema del puerto.

FIGURA 17 • NIVELES DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL HACIA UN PUERTO INTELIGENTE



Tras evaluar los niveles de transformación digital en los que se puede encontrar un puerto, es importante resaltar las distintas áreas de actuación donde aplicar esta transformación digital del puerto en su entorno y las soluciones inteligentes disponibles para ellas. No es raro que un determinado departamento de una autoridad portuaria esté invirtiendo en plataformas digitales a nivel de comunidad portuaria, mientras que otras sigan utilizando procesos manuales para estas funciones.

Para ello, se han especificado hasta diez áreas de gestión portuaria (Figura 18) sobre las que es necesario actuar en la implantación de puerto inteligente.

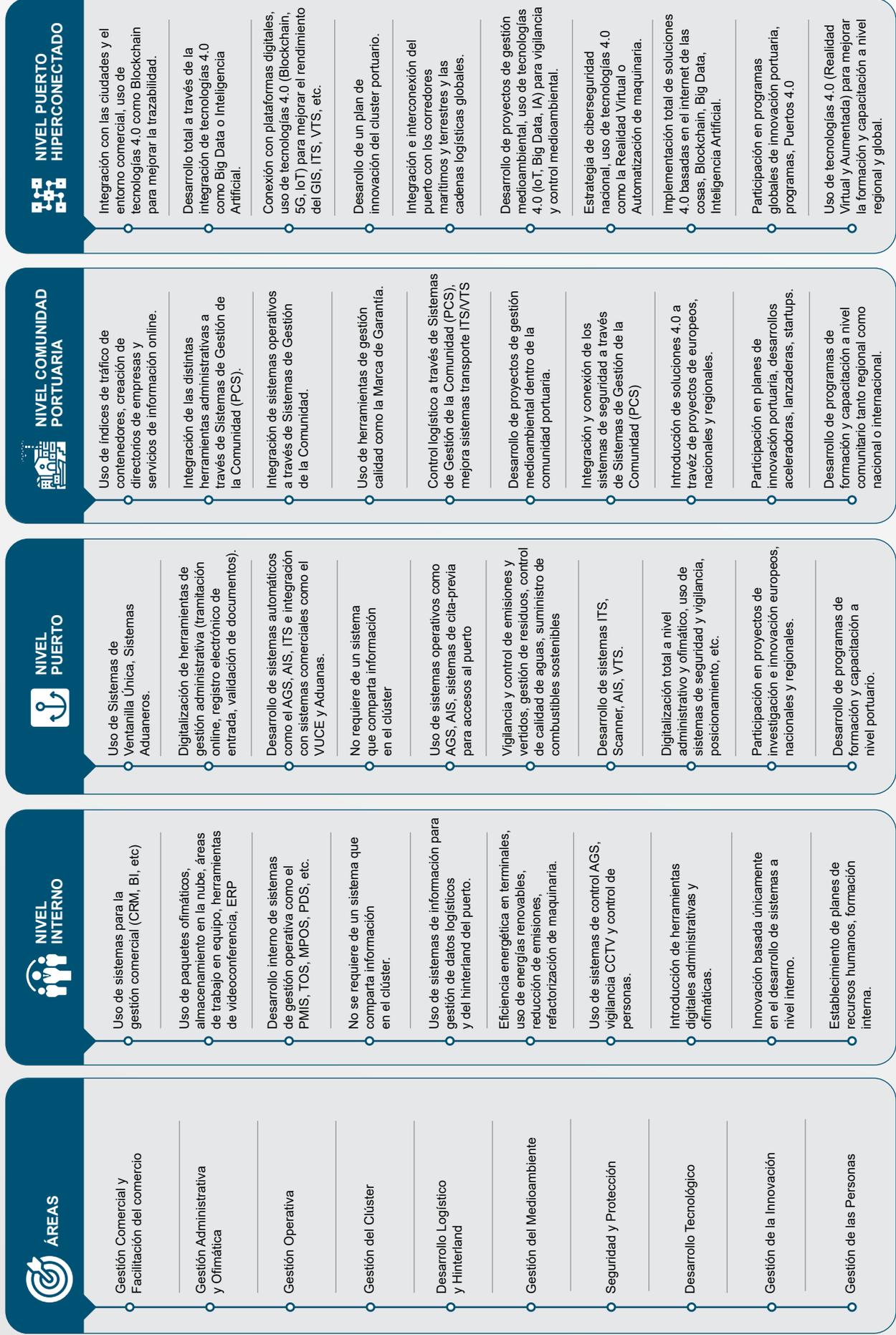
FIGURA 18 • ÁREAS DE LA GESTIÓN PORTUARIA



Cada una de estas áreas de gestión portuaria deben ser evaluadas, identificando los activos que se encuentran ya implantados, los activos que se encuentran en desarrollo y los activos que deberían ser desarrollados en cada uno de los niveles de transformación descritos anteriormente, llegando así a un framework de análisis a nivel micro que permitirá identificar qué áreas se encuentran más o menos desarrolladas dentro de cada nivel. En concreto, el framework diseñado considera una matriz con los cuatro niveles de transformación digital descritos anteriormente para cada una de las diez áreas de gestión portuaria donde se podrán examinar los sistemas, aplicaciones, soluciones y tecnologías que ya existen (ver anexo I), los que se encuentran en fase de desarrollo y los que se necesitan desarrollar. Un ejemplo de esta matriz se encuentra representado en la Figura 19.

Para completar la matriz propuesta se puede utilizar una plantilla a ser rellenada por los distintos actores clave que interactúan dentro del ecosistema portuario. En esta plantilla se muestra en primer lugar el área de gestión portuaria que se está analizando y los distintos niveles de transformación digital que se deben abordar (nivel interno, puerto, comunidad portuaria e hiperconectado). Asimismo, dentro de cada nivel hay que considerar e identificar aquellos activos que ya se tienen disponibles, aquellos activos o actuaciones que se están ejecutando, y aquellos activos o actuaciones que se consideran necesario disponer en el momento del análisis.

FIGURA 19 • ÁREAS Y NIVELES DE LA GESTIÓN PORTUARIA



Dentro del informe específico para la preparación de la hoja de ruta (informe V), esta plantilla (ver Tabla 4) detalla los actores que se encuentran involucrados en cada área de gestión portuaria y nivel de transformación, junto con preguntas tipo que pueden ser formuladas para obtener información relevante para completar la matriz. Es importante puntualizar que cuando se indica a Autoridad Portuaria se refiere en algunos puertos a la empresa o gestor a cargo de la instalación portuaria y que en algunos países no se identifica exactamente con una Autoridad Portuaria. En todos los componentes de la matriz de evaluación se debe reflexionar sobre el uso que se está haciendo de tecnologías emergentes (por ejemplo, IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, Visualización avanzada de datos, o Tecnologías cloud) y sobre las oportunidades que se podrían obtener con su introducción. Otra pregunta general en cada uno de los componentes de la matriz de evaluación está orientada a la reflexión sobre la existencia y necesidad de personal especializado para cada área de gestión portuaria y nivel específico. Para cada área de gestión portuaria de la matriz se procederá a evaluar el nivel de madurez actual (de cero a cuatro) en función de los activos que ya se tengan, las actuaciones que se encuentran en curso y las actuaciones futuras que se consideran necesarias.

TABLA 4 • MODELO DE PLANTILLA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CADA ÁREA DE GESTIÓN

ÁREA	NIVELES	ACTIVOS, ACTUACIONES E INICIATIVAS
GESTIÓN OPERATIVA NIVEL DE MADUREZ 0 • 1 • 2 • 3 • 4	INTERNO	<input type="checkbox"/> ACTIVOS DISPONIBLES
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES EN DESARROLLO
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES REQUERIDAS
	PUERTO	<input type="checkbox"/> ACTIVOS DISPONIBLES
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES EN DESARROLLO
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES REQUERIDAS
	COMUNIDAD PORTUARIA	<input type="checkbox"/> ACTIVOS DISPONIBLES
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES EN DESARROLLO
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES REQUERIDAS
	HIPERCONECTADO	<input type="checkbox"/> ACTIVOS DISPONIBLES
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES EN DESARROLLO
		<input type="checkbox"/> ACTIVOS/ACTUACIONES REQUERIDAS

Tras definir los requisitos necesarios para alcanzar los distintos niveles de digitalización en las áreas de gestión portuaria, se propone un método de representación gráfica como forma de cuantificar el nivel de desarrollo de los puertos en estos diez ámbitos. El modelo gráfico se define en la Figura 20.

FIGURA 20 • MODELO DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA



5.2 ELECCIÓN DE LAS SOLUCIONES Y PROYECTOS VIABLES

Para realizar una correcta elección de las soluciones y proyectos se pueden utilizar metodologías consolidadas en el campo del análisis económico de proyectos. En el contexto de esta hoja de ruta, el enfoque principal se basa en garantizar que la elección de las actuaciones que formarán el plan de puerto inteligente sea transparente y que cuente con la participación de la comunidad portuaria.

La metodología propuesta recomienda un trabajo de campo y la creación de grupos de trabajo con los distintos agentes del clúster logístico-portuario para determinar aquellas líneas de trabajo con mayor impacto en las empresas del entorno portuario y el grado de interés de las organizaciones que conforman el clúster por las distintas iniciativas.

5.2.1 • METODOLOGÍA

5.2.1.1 • TRABAJO DE CAMPO CON LOS AGENTES DEL CLÚSTER PORTUARIO

Con la finalidad de contrastar las tendencias internacionales del sector, se busca identificar nuevas tendencias a partir de la experiencia y visión de distintos actores locales, priorizarlas en función de su importancia y probabilidad de cumplimiento, y proponer un horizonte temporal de implantación en el clúster logístico-portuario. Para cumplir con estos objetivos, se plantea un cuestionario que permitirá la realización del trabajo de campo.

Las personas encuestadas deben ser elegidas de a que se obtenga una muestra representativa de los distintos colectivos que forman el clúster del puerto analizado, integrando principalmente a directivos o responsables de departamentos estratégicos dentro de las empresas. Estas encuestas deben ser realizadas de forma presencial.

Las preguntas realizadas a los encuestados sobre cada una de las tendencias son las siguientes:

- **La importancia de la tendencia:** Determina el grado de relevancia que el encuestado otorga a cada una de las tendencias dentro del sector para su comunidad portuaria. El encuestado puntúa de 1 a 5, sabiendo que: 1 es muy poca relevancia; 2 poca relevancia; 3 relevancia media; 4 relevancia alta; y 5 relevancia muy alta.
- **La consolidación de la tendencia:** La realidad y factibilidad de que sea llevado a cabo el reto o tendencia propuestos, contestando a dos preguntas.
 - La primera, si el encuestado ha considerado que la tendencia puede llegar a materializarse, contesta con un SÍ; o bien con un NO si por el contrario no está convencido de ello.
 - Si la primera respuesta ha sido un SÍ, debe especificar el plazo en el que considera que esta tendencia llegará a consolidarse: Entre 1-5 años, entre 5-10 años, entre 10-15 años, entre 15-20 años o bien en más de 20 años.
- **La afectación que tiene la consolidación de esta tendencia:** El encuestado responde dos cuestiones. La primera de ellas, como afecta esta tendencia a nivel global al sector, y la segunda, cómo afecta esta tendencia a nivel particular dentro de su organización. El encuestado puntúa de 1 a 5, sabiendo que: 1 es muy poca afectación; 2 poca afectación; 3 afectación media; 4 afectación alta; y 5 afectación muy alta.

Asimismo, resulta relevante considerar las respuestas abiertas que se han obtenido por parte de los encuestados en relación a su visión sobre: las posibles acciones de puerto inteligente a llevar a cabo dentro de cada una de las tendencias estudiadas, la importancia que le otorgan, las acciones que están llevando a cabo en las organizaciones a las que pertenecen, o la posibilidad de que puedan llevarse a cabo en un plazo concreto.

Después de obtener todas las respuestas, éstas necesitarán ser consolidadas y clasificadas para obtener un ranking e identificar qué tendencias son aquellas consideradas más relevantes por el clúster logístico-portuario y con un nivel mayor de afectación dentro de cada una de las macro-tendencias del sector.

5.2.1.2 • GRUPOS DE TRABAJO

La siguiente fase es la creación de grupos de trabajo para el debate y discusión, trabajando en la identificación y priorización de las principales líneas de trabajo que constituyen el plan de puerto inteligente de la comunidad logística-portuaria.

Estos grupos de trabajo se formarán atendiendo a su temática y contarán con expertos en la materia, directivos de organizaciones o áreas de las mismas dentro del clúster, invitados por la entidad gestora del puerto.

Las tendencias o líneas de innovación llevadas a debate deben ser aquellas seleccionadas después del trabajo de campo, las que más puntuación obtuvieron en las encuestas, siendo estas las más importantes o relevantes según la comunidad portuaria.

Cada una de estas tendencias se exhibirá al grupo junto con diferentes líneas concretas de actuación identificadas en el Manual de Puertos Inteligentes del Banco Interamericano de Desarrollo, con la finalidad de contrastar estas mismas líneas para el desarrollo del plan. Acto seguido al debate y con el objetivo de obtener una conclusión del grupo de trabajo y una priorización de las líneas de actuación mencionadas por parte de los asistentes a los grupos de trabajo, se realizará una dinámica de puntuación. A cada participante se le asignará un número de votos en función del número de líneas de actuación a valorar. Los participantes pueden asignar todos los votos a una sola línea de trabajo, o bien repartirlas, en función de la relevancia que aportaran a cada una de ellas.

Con esta dinámica se puede llegar a un número concreto de líneas de trabajo para poder así construir el Plan de Acción el Puerto Inteligente.

5.3 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN A CORTO, MEDIO Y LARGO PLAZO

El diseño de un plan de puerto inteligente debe incorporar consideraciones sobre la gobernanza, inversión y operación de las soluciones.

El modelo de gobernanza tiene por objetivo la creación de la estructura necesaria para definir procesos y procedimientos estándar soportados por las soluciones introducidas en el puerto inteligente, determinar qué servicios debe ofrecer el puerto inteligente, definir las políticas de funcionamiento de los sistemas, crear relaciones y alianzas, definir estrategias y establecer compromisos por parte de toda la comunidad portuaria.

Por su parte, el modelo de negocio determinará quién o quiénes participarán en las inversiones necesarias en las distintas iniciativas dentro del plan de puerto inteligente y qué política de recuperación de inversiones se aplicará.

Finalmente, el modelo de operación determinará el dimensionamiento y estructura de los recursos humanos y físicos que se necesitan, la forma en la que se organizarán para la operación de los distintos sistemas que conforma el puerto inteligente. El modelo de operación también considerará la arquitectura técnica y empresarial que proporcione el servicio necesario para la operación de las iniciativas. La ubicación de los activos requeridos debe considerar la ubicación de oficinas y la ubicación de los activos digitales (servidores, infraestructura de red, sistemas de identificación, automatización, sensores, actuadores, etc.).

5.3.1 • MODELO DE GESTIÓN

El Plan de Puerto Inteligente de cada comunidad logístico-portuaria debe estar formado por un número significativo de actuaciones que deben ser equipadas con instrumentos y mecanismos eficaces que les permitan alcanzar los objetivos marcados.

Al ser un plan que involucra a toda la comunidad portuaria, es de vital importancia que exista una coordinación, además de sinergias para poder desarrollar todas las iniciativas propuestas.

El modelo de gestión debe estar basado en los siguientes principios:

- **Liderazgo:** Es imprescindible que el Plan cuente con una dirección visible que impulse el plan y lo lidere para la consecución de los objetivos marcados.
- **Coordinación:** El plan es transversal, lo que implica a toda la comunidad portuaria. Esto conlleva que sus actuaciones tendrán consideraciones en todas las empresas e instituciones del sector, además de que se necesitará de la participación de todas ellas para cumplir así los objetivos marcados.
- **Seguimiento de las actuaciones:** El Plan debe ser puesto en marcha, sin embargo, muchas son las medidas de seguimiento que se deben de llevar a cabo para que el Plan lleve una inercia y pueda ser conducido gracias al impulso de todos.
- **Actualización:** Este plan debe ser diseñado como un documento vivo, permitiéndole adaptarse rápidamente a los cambios derivados en el entorno. Prever el devenir del sector y del entorno en el que nos encontramos es una tarea muy complicada. Es por ello que aparece como necesario asegurar una actualización del presente documento frente a futuros cambios de tecnología, normativa o bien nuevos resultados de estudios que puedan derivar cambios sustanciales en la redacción actual del Plan.

5.3.2 • MODELO ORGANIZATIVO

El modelo organizativo del Plan debe estar formado por dos órganos. El primero que se encarga de la dirección es el Comité de Dirección, y el segundo, el cual se encarga de su seguimiento es el Comité de Puerto Inteligente.

El Comité de Dirección es formado por aquellos que impulsan y lideran el Plan y velan por la consecución de los objetivos fijados. El Comité de Puerto Inteligente es formado por los principales miembros de los grupos de trabajo, y se responsabilizará del seguimiento del plan. Será el instrumento que permita dinamizar la actividad del plan mediante la promoción de actividades de diversa índole, tales como organización de jornadas y foros de debate, puesta en marcha de proyectos, análisis de iniciativas generadas en otros sectores, etc.

5.3.3 • DESARROLLO DEL ROADMAP DEL PLAN

Es esencial que el plan tenga un roadmap u hoja de ruta que muestre el plan de acción a través de una secuencia detallada de pasos en forma de cronograma temporal de acciones para lograr el cumplimiento de lo propuesto (Tabla 5).

TABLA 5 • EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE ROADMAP PARA EL PLAN DE PUERTO INTELIGENTE

LÍNEAS DE TRABAJO	ACCIONES	CORTO PLAZO	MEDIO PLAZO	LARGO PLAZO
<ul style="list-style-type: none"> Incrementar la visibilidad de la carga para los usuarios 	<ul style="list-style-type: none"> Implantar un sistema de comunidad portuaria (PCS) 			
<ul style="list-style-type: none"> Incrementar la calidad de los datos operativos para la toma de decisión 	<ul style="list-style-type: none"> Sensorizar todos los accesos y equipos del recinto portuario Implantar un sistema de big data para la gestión de los datos operativos 			
<ul style="list-style-type: none"> Usar de forma más eficiente e inteligente la energía en el recinto portuario 	<ul style="list-style-type: none"> Implantar un sistema de monitorización y predicción medioambiental Desarrollar estudios y pilotos con energías renovables, en especial hidrógeno y solar. 			

Esta hoja de ruta integra las líneas de trabajo más relevantes identificadas por la comunidad portuaria, junto con las acciones propuestas durante el proceso de desarrollo del plan para la consecución de los objetivos marcados. Asimismo, debe ser presentado un plazo de ejecución de cada una de las líneas de trabajo para que sean llevadas a cabo.

5.3.4 • DEFINIENDO OBJETIVOS E INDICADORES PARA SEGUIMIENTO DEL PLAN

Para definir los objetivos e indicadores para cada una de las actuaciones del plan, se sugiere la aplicación de la metodología SMART. Como se muestra en la Figura 9, esta metodología tiene su título como regla para los criterios:

- S: Specific / Específico, ¿Es su objetivo específico? - ¿Qué?
- M: Measurable / Medible, ¿El progreso hacia ese objetivo es medible? - ¿Cuánto?
- A: Attainable / Alcanzable, ¿El objetivo es realmente alcanzable? - ¿Cómo?
- R: Relevant / Relevante, ¿Qué tan relevante es el objetivo para su organización? - ¿Con qué?
- T: Time-Related / Marco de Tiempo, ¿Cuál es el tiempo destinado para lograr esta meta? - ¿Cuándo?

Gracias a estas condiciones básicas se podrá tener una idea más clara de la capacidad del plan y también evitar crear brechas entre los objetivos propuestos y las capacidades reales de la entidad responsable por su ejecución.

5.3.5 • ACTUALIZACIÓN DEL PLAN

La adecuada gestión del plan requiere disponer de los mecanismos necesarios que permitan actualizar el plan de forma continuada. Para ello, se sugiere realizar tanto actualizaciones periódicas como extraordinarias que permitan adecuar el Plan al contexto y los cambios derivados del mundo en el que nos encontramos.

REFERENCIAS

- Accenture & Shanghai International Port Group. (2016). Connected Ports - Driving Future Trade. Obtenido de https://www.accenture.com/t20161012t003018z__w__us-en/_acnmedia/pdf-29/accenture-connected-ports-driving-future-trade.pdf
- Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE). (2018). Recomendaciones para la Digitalización de las Empresas. Obtenido de <https://www.ceoe.es/es/informes/i-d-i/recomendaciones-para-la-digitalizacion-de-las-empresas>
- Doerr, O. (2016). Modelos de Gestión y Gobernanza Portuaria: Desafíos actuales y el futuro de los puertos en LAC. CEPAL - Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.sela.org/media/2303863/8-modelos-de-gestion-portuaria-y-gobernanza.pdf>
- Ericsson. (2018). Autonomous ships – Learning to sail in clouds. Obtenido de <https://www.ericsson.com/en/blog/2018/12/autonomous-ships--learning-to-sail-in-clouds>
- European Commission. (2 de Diciembre de 2015). Cerrar el círculo: la Comisión adopta un ambicioso paquete de nuevas medidas sobre la economía circular Obtenido de https://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_es.htm
- Gonzalez, Marta, Bergovist Rickard, and Monios, Jason, "A Global Review of the Hinterland Dimension of Green Port Strategies," Transportation Research Part D: Transport and Environment 59 (March 2018): 23– 34, <https://doi-org.proxy-um.researchport.umd.edu/10.1016/j.trd.2017.12.013>
- Greening Ports and Logistics in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank (IDB) Hardgrave, L. (2018). Blockchain: Beyond the Hype. Port Technology: Edition 79.
- Heilig, L., & Lalla-Ruiz, E. (2019). Machine Learning in Container Terminals. Port Technology Edition 83.
- International Port Community Systems Association (IPCOSA). (2014). <https://ipcsa.international/pcs>. Obtenido de <https://ipcsa.international/pcs>
- Luezas, Jaime. (2018). El Papel de los Puertos en la Nueva Economía 4.0. Puertos del Estado. Obtenido de <https://docplayer.es/92580516-El-papel-de-los-puertos-en-la-nueva-economia-4-0-jaime-luezas-alvarado-puertos-del-estado.html>
- Manners-Bell, John. (2019). Technical Note on Future of Logistics. Inter-American Development Bank.
- Maritime and Port Authority of Singapore. (2019). <https://www.mpa.gov.sg/web/portal/home>.
- Meier, Jens. (2018). SmartPORT Hamburg: Embracing Port Digitalisation. Hamburg Port Authority AöR. Obtenido de <https://www.governmenteuropa.eu/smartport-hamburg/93075/>
- Merk, O. (2013). The Competitiveness of Global Port-Cities: Synthesis Report. OECD Regional Development Working Papers. Obtenido de <https://doi.org/10.1787/5k40hdhp6t8s-en>
- Nübler, I. (2016). New technologies: A jobless future or golden age of job creation? Organización Internacional del Trabajo (OIT).
- NxtPort. (s.f.). NxtPort: Building the Ports of the Future. Together. Obtenido de <https://www.nxtport.com>
- OECD. (2017). Perspectivas de la OCDE sobre la Economía Digital. Obtenido de https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/perspectivas-de-la-ocde-sobre-la-economia-digital-2017_9789264302211-es#page14

Orange. (2019). Industria 4.0: 26 buenas prácticas en grandes empresas nacionales e internacionales. Obtenido de https://www.orange.es/static/pdf/IndustriaGrandesEmpresas.pdf?internal_source=orange&internal_medium=informes&internal_term=informes+industria

Paredes, M. (2019). Planificación Portuaria: Tendencias en Innovación.

Port of Rotterdam. (2019). Move Forward: Step by Step towards a Digital Port. Obtenido de <https://www.portofrotterdam.com/en/port-forward/step-by-step-towards-a-digital-port>

PortXL. (2018). Obtenido de <https://portxl.org/>

Puertos del Estado. (2018). Puertos 4.0: Los puertos 4.0 traerán de forma inevitable cambios en el modelo de gobernanza portuaria. Obtenido de <http://innovacion.portsdebalears.com/actividad/puertos-4-0/>

Qualcomm. (2019). <https://www.qualcomm.com/invention/5g/internet-of-things>. Obtenido de <https://www.qualcomm.com/invention/5g/internet-of-things>

RDM Rotterdam. (n.d.). <https://www.rdmrotterdam.nl/en/contact-eng/>.

Re-Imagining Corporate Innovation with a Silicon Valley Perspective. (2014). Using Corporate Incubators and Accelerators to Drive Disruptive Innovation. Obtenido de <https://corporate-innovation.co/2014/08/13/using-corporate-incubators-and-accelerators-to-drive-disruptive-innovation/>

Rolls-Royce. (2018). Autonomous ships: The next step. Obtenido de https://www.rolls-royce.com/~/_media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf

The Boston Consulting Group (BCG). (2018). The Digital Imperative in Container Shipping. Obtenido de <https://www.bcg.com/en-es/publications/2018/digital-imperative-container-shipping.aspx>

Torregrosa, Antonio. (2019). Plan de Innovación del Clúster de Valenciaport. Fundación Valenciaport. Obtenido de <https://www.valenciaport.com/wp-content/uploads/Plan-de-Innovacion-del-Cluster-Valenciaport-Antonio-Torregrosa.pdf>

United Nations Conference on Trade and Development. (2019). Gestión Moderna de Puertos. Sub-módulo 5C - Gestión Portuaria Digital.

Verhoeven, P. (2019). A Review of Port Authority Functions: Towards a Renaissance? European Sea Ports Organisation (ESPO). Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03088831003700645>

Victoria Curzel, M. (2018). Greening Ports and Maritime Logistics in Latin and the Caribbean: A Toolkit. Inter-American Development Bank.

World Economic Forum. (2019). Redesigning Trust: Blockchain for Supply Chain. Obtenido de <https://www.weforum.org/projects/redesigning-trust>

MANUAL DE PUERTOS INTELIGENTES

ESTRATEGIA Y HOJA DE RUTA

