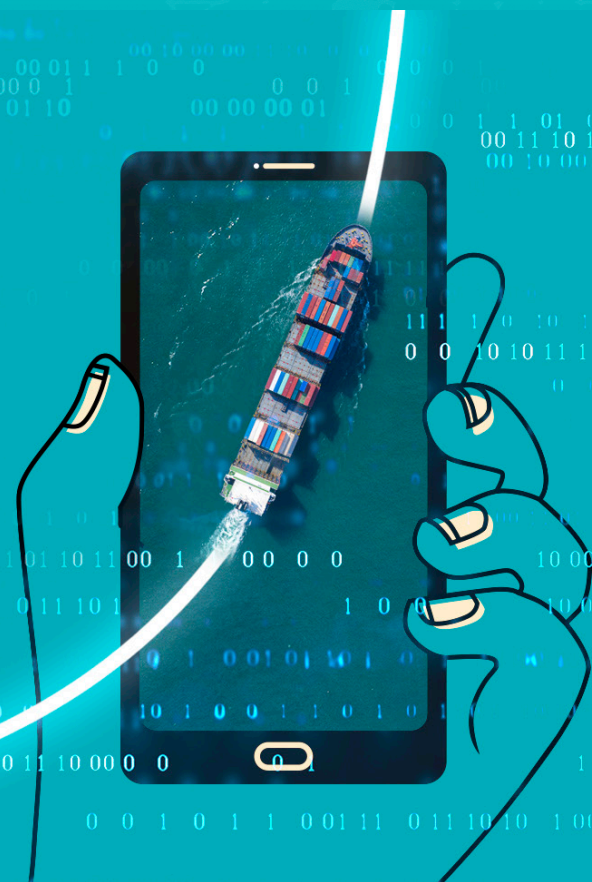




Puerto de Santander

LAS TECNOLOGÍAS EXPONENCIALES Y SU IMPACTO EN LOS PUERTOS Y SUS CADENAS LOGÍSTICAS

Santiago N. Díaz Fraile
Óscar Pernía Fernández
José Ramón Ruiz Manso
(editores)



LAS TECNOLOGÍAS EXPONENCIALES Y SU IMPACTO EN LOS PUERTOS Y SUS CADENAS LOGÍSTICAS

ENCUENTRO

8 septiembre 2021

Palacio de la Magdalena. Santander

SANTIAGO N. DÍAZ FRAILE
ÓSCAR PERNÍA FERNÁNDEZ
JOSÉ RAMÓN RUIZ MANSO

(EDITORES)



NAVALIA AULA - CUADERNOS N°7

EDITA:

AUTORIDAD PORTUARIA DE SANTANDER

Presidente: Francisco L. Martín Gallego

Director: Santiago N. Díaz Fraile

Muelle de Maliaño S/N
39009 Santander. Cantabria. España
Telf: (+34) 942 203 600
www.puertasantander.es

REALIZACIÓN EDITORIAL:

AUTORIDAD PORTUARIA DE SANTANDER

Coordinación Programa Editorial Navalia:

Dpto. Actividades Corporativas

Concepto gráfico

Carlos Limorti García

AUTORES:

Christian Blauert

Santiago N. Díaz Fraile

Encarna López Castejón

Francisco L. Martín Gallego

Manuel Martínez de Ubago Álvarez de Sotomayor

Guillermo Massot Cristino

Óscar Pernía Fernández

Laura Rodríguez Romo

María Román del Molino

José Ramón Ruiz Manso

DISEÑO Y MAQUETACIÓN:

Pizzicato Estudio Gráfico

IMPRESIÓN:

Artes Gráficas J. Martínez

Impreso en España. Printed in Spain.

I.S.B.N.: 978-84-121144-8-5

DEPOSITO LEGAL: SA 405-2021

© Autoridad Portuaria de Santander

© Autores

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

Los trabajos reflejan las opiniones de los autores, sin implicar necesariamente identificación del editor con sus contenidos.

Los cargos con los que aparecen referenciados los autores se corresponden con las ocupaciones desempeñadas en el momento de impartir su ponencia en el Encuentro "LAS TECNOLOGÍAS EXPONENCIALES Y SU IMPACTO EN LOS PUERTOS Y SUS CADENAS LOGÍSTICAS", celebrado el 8 de septiembre de 2021 en el Palacio de la Magdalena de Santander, en el marco de la programación académica de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo.

“¿Sabes lo que es raro? Día tras día, nada parece cambiar, pero, de pronto, todo es diferente.”

Calvin y Hobbes

“La probabilidad de que en un futuro o a medio plazo las cosas sigan igual que ahora es exactamente cero”

John P. Kotter

“...no importa el dilema al que nos enfrentemos (...) hay una idea que nos puede hacer salir victoriosos. Y, además, esa idea puede ser encontrada; y cuando la encontramos, tenemos que ponerla en práctica.”

Ray Kurzweil

“Nuestra tendencia es sobrestimar los efectos de una tecnología en el corto plazo y subestimar el efecto en el largo plazo.”

Ley de Amara

“Si piensas que tendrás éxito dirigiendo tu empresa en los próximos diez años como lo hiciste en los diez últimos, estás muy equivocado. Para alcanzar el éxito es necesario alterar el presente.”

Roberto Goizueta.

Presidente de Coca-Cola (1980/1997)

Las tecnologías de la información y las comunicaciones, cada vez más accesibles y versátiles, van aumentando su poder de transformación y, con ello, reforzando su papel como columna vertebral del avance tecnológico. En efecto, cuando estas tecnologías se conjugan con las de otros campos tecnológicos, además de actuar como fuerzas multiplicadoras y aceleradoras de su progreso y de ampliación de sus capacidades, posibilitan su interconexión y convergencia; y, con ello la influencia de unos sobre otros y su combinación en formas disruptivas.

De un tiempo a esta parte, una variada constelación de tecnologías de ámbitos tan variados como la física, la biología o la química, se encuentra inmersa en este proceso. Son las denominadas “Tecnologías Exponenciales”, designadas así debido a que sus tasas de desarrollo son cada vez más rápidas y se aceleran simultáneamente. Siguen, por tanto, pautas de crecimiento exponencial, el patrón de duplicación, en palabras de Salim Ismail¹: el “paradigma que lo impulsa todo”.

Conceptualmente, la idea del crecimiento exponencial de la tecnología se fundamenta en la Ley de Moore, que Ray Kurzweil, a través de la formulación de la Ley de Rendimientos Acelerados, hizo extensiva

a todo proceso evolutivo: “una evaluación seria de la historia de la tecnología revela que el cambio tecnológico es exponencial. El crecimiento exponencial es un rasgo de todo proceso evolutivo, de los cuales la tecnología es su ejemplo principal”.

En la actualidad unos 20 campos tecnológicos se están viendo afectados a un tiempo por el “patrón exponencial”: inteligencia artificial, computación en nube, *blockchain* y criptomonedas, materiales avanzados, biotecnología, neurociencia, secuenciación de ADN y medicina, analítica avanzada, ciberseguridad, diseño digital y simulación, nanotecnología, almacenamiento de energía, energías renovables, computación de alto rendimiento, internet de las cosas, realidad virtual y aumentada, drónica, redes móviles, robótica y automatización cognitiva, vehículos autónomos, impresión 3D y fabricación digital, tecnología aeroespacial, etc.

La convergencia acelerada de estas tecnologías, que difumina las líneas que separan lo físico, lo biológico y lo digital², va camino de generar una ola de cambio disruptivo en todo ámbito de actividad humana de una escala, ritmo y potencial sin precedentes, cuyas implicaciones apenas se está comenzado a imaginar.

La industria portuaria y las cadenas logísticas de las que forman parte, por las que fluye alrededor del 80% del volumen del comercio mundial y más del 70% de su valor, han comenzado a situarse en foco de atención de estas tecnologías.

Puertos y cadenas logísticas, exigidos por su papel central en la construcción y funcionamiento de una economía globalizada, afrontaron relativamente temprano la primera fase de digitalización, -aquella a la que Nicholas Negroponte³ definió como de transformación de los átomos que componen el mundo real en secuencias de bits, sin que sus modelos organizativos, operativos, de gestión y de negocio sufrieran grandes cambios radicales.

Sin embargo, la segunda ola de digitalización, protagonizada por las referidas Tecnologías Exponenciales, asegura transformaciones estructurales; promete ir más allá de la mejora incremental para inspirar e impulsar disrupciones en todas las esferas de actividad del sector (productos, servicios, clientes, mercado, activos...), dotarles de nuevas capacidades, redefinir sus fronteras y cambiar las reglas de juego.

Tras el impase del pasado año, motivado por las circunstancias derivadas de la COVID 19, la Autoridad Portuaria de Santander ha retomado en 2021 su habitual colaboración con la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Así, entre las actividades académicas previstas para el mes de septiembre se programó el encuentro titulado: "Las Tecnologías Exponenciales y su Impacto en los Puertos y sus Cadenas Logísticas".

Dirigido por Santiago N. Díaz Fraile, Director de la Autoridad Portuaria de Santander, y Óscar Pernia Fernández, Socio Fundador y Director Técnico de Next-Port, el propósito de dicho encuentro fué el de sensibilizar y poner de manifiesto la capacidad transformadora de las Tecnologías Exponenciales; brindar una visión sobre los efectos que están llamadas a

producir en los "modus operandi" de los puertos y sus cadenas logísticas; y reflexionar sobre las estrategias de transición y aprovechamiento de las oportunidades que van a provocar.

Enfocado al amplio espectro de ejecutivos, técnicos y profesionales que conforman el sector portuario-logístico, tanto desde el ámbito empresarial como institucional; así como a estudiantes, universitarios, emprendedores y "startups" atraídas por las oportunidades que ofrece esta industria, el evento adoptó el formato de seminario exploratorio. A tal efecto, se seleccionaron seis cuestiones (herramientas, tecnologías, estrategias) clave que están llamados a perfilar el porvenir de los puertos y transformar sus paradigmas operativos y subsecuentes modelos de negocio durante los próximos años: ECOSISTEMAS DIGITALES 4.0, GEMELOS DIGITALES, PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS DE GESTIÓN PORTUARIA, INTERNET FÍSICO, AUTOMATIZACIÓN DE TERMINALES, e INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

El volumen que el lector tiene ahora en sus manos, que aspira a constituirse en una publicación divulgativa de referencia para los interesados y estudiosos de los puertos y su desarrollo tecnológico, recoge los textos de las conferencias dictadas el día 8 de septiembre en Palacio de la Magdalena de Santander, sede de las actividades académicas estivales de la UIMP. Le Invitamos un atento análisis de estos escritos, en los que encontrará, a buen seguro, estimulantes reflexiones, originales planteamientos y puntos de vista, y sugerentes experiencias e ideas inspiradoras.

La Autoridad Portuaria de Santander, la Universidad Internacional Menéndez Pelayo y Next-Port desean felicitar y agradecer a los expertos invitados su activa y entusiasta implicación en la organización de esta actividad académica, así como su animoso esfuerzo y dedicación en la preparación de los artículos que conforman esta publicación.

Santander, septiembre 2021

NOTAS

1. **Ismail Salim** (2020). *Ciudades, el futuro de la civilización*. <https://frdelpino.es/conferencia-frdelpino/conferencia-magistral-salim-ismail>
2. **Palao, Francisco; Lapierre, M. y Ismail, S.** (2019). *Transformación exponencial*. Madrid: Ed. Bubok. Pág. 22.
3. **Negroponte, Nicholas.** (1995) *El mundo digital*. Barcelona: Ediciones B. Pág. 25 y siguientes.

SUMARIO

1. LA REINVENCIÓN DE LOS PUERTOS. SMART PORT: EL PATRÓN DEL PUERTO DEL MAÑANA.....	11
José Ramón Ruiz Manso <i>Geógrafo. Jefe Dpto.Actividades Corporativas.Autoridad Portuaria de Santander.</i>	
Santiago N. Díaz Fraile <i>Licenciado en Derecho. Graduado en Psicología. Director.Autoridad Portuaria de Santander.</i>	
Francisco L. Martín Gallego <i>Dr. en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Presidente.Autoridad Portuaria de Santander.</i>	
2. LOS PUERTOS EN ECOSISTEMAS DIGITALES 4.0, INTEGRACIÓN EN CADENAS DE SUMINISTRO Y NUEVOS PRODUCTOS DIGITALES	33
Guillermo Massot Cristino <i>Ingeniero Naval, MBA. Socio Director - Althium.</i>	
3. ECO-SISTEMAS PORTUARIOS DIGITALES PARA LA EXCELENCIA OPERATIVA.....	49
María Román del Molino <i>Ingeniera de Telecomunicación. Jefa de División de Operaciones y Servicios a la Comunidad Portuaria. Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras.</i>	
4. EL INTERNET FÍSICO Y SU INFLUENCIA EN LOS PUERTOS	65
Manuel Martínez de Ubago Álvarez de Sotomayor <i>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.MSc Ingeniero de Caminos, MSc Transporte, Infraestructuras y Logística. Project Manager, STC-NESTRA.</i>	
5. EL PRESENTE DE LA AUTOMATIZACIÓN EN TERMINALES DE CONTENEDORES	81
Laura Rodríguez Romo <i>Ingeniera Industrial. Máster Ejecutivo en Dirección de Empresas. Especialista en digitalización. Directora de proyectos. TIL Group.</i>	
6. 4.0. TOOLS: DIGITAL TWINS IN PORTS	97
Christian Blauert <i>Mechanical Engineer Global Director Ports and Terminal Development. Moffat & Nichol.</i>	
Encarna López Castejón <i>MSc Coastal and Marine Engineering and Management. Project Engineer, Port Engineering and Planning. Moffatt & Nichol.</i>	
7. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A PUERTOS. “DYNAMIC PLANNING” Y SINCROMODALIDAD	117
Óscar Pernía Fernández <i>Ingeniero de Telecomunicaciones. Doctor en Ingeniería Industrial. Socio Fundador Next-Port.</i>	





LA REINVENCIÓN DE LOS PUERTOS. SMART PORT: EL PATRÓN DEL PUERTO DEL MAÑANA

José Ramón Ruiz Manso

Geógrafo.

Jefe Dpto. Actividades Corporativas. Autoridad Portuaria de Santander.

Santiago N. Díaz Fraile

Licenciado en Derecho. Graduado en Psicología.

Director. Autoridad Portuaria de Santander.

Francisco L. Martín Gallego

Dr. en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente. Autoridad Portuaria de Santander.

1. REINVENTAR REINVENTARSE

2. LA REINVENCIÓN DE LOS PUERTOS. LAS ÚLTIMAS CINCO DÉCADAS

2.1. Las fuerzas de la globalización

2.2. La Revolución Digital

2.3. Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible

3. PORT RESET: HACIA UNA NUEVA REINVENCIÓN DE LOS PUERTOS

3.1. Las fuerzas de lo local

3.2. El relevo generacional

3.3. La 2ª ola de digitalización. Las Tecnologías Exponenciales

4. SMART PORT: EL PATRÓN DEL PUERTO DEL MAÑANA

4.1. Misión de un Smart Port TRL 9

4.2. Competitividad y productividad

4.3. Conocimiento y aprendizaje

4.4. Innovación

4.5. Sistema inmunitario

4.6. Inteligencia

5. DESPLIEGUE DEL SMART PORT: INVERTIR EN INTELIGENCIA

5.1. Talento

5.2. Tecnología

6. NOTAS



JOSÉ RAMÓN RUIZ MANSO

*Geógrafo.
Jefe Dpto. Actividades Corporativas. Autoridad Portuaria de Santander.*

Geógrafo por la Universidad de Cantabria. Su trayectoria profesional ha estado ligada en su práctica totalidad al Puerto de Santander, en donde desde 1986 ha desempeñado distintos cargos técnicos y directivos; entre ellos, los de Responsable de Imagen, Comunicación y Actividades Culturales, Jefe de Relaciones Externas, Jefe de Gabinete de Presidencia, etc.

Desde 2003 ejerce como Jefe del Departamento de Actividades Corporativas, teniendo a su cargo, entre otras cuestiones, la organización de cursos, seminarios y programas internacionales de capacitación especializada para el sector portuario, así como el impulso y la coordinación de iniciativas de investigación y de sensibilización y fomento de la innovación a través de “Santander Port Lab”; siendo representante de la Autoridad Portuaria en el Comité Técnico de Evaluación de Solicitudes de Ayudas del Fondo Puertos 4.0.



SANTIAGO N. DÍAZ FRAILE

*Licenciado en Derecho. Graduado en Psicología.
Director. Autoridad Portuaria de Santander.*

Licenciado en Derecho por Universidad Autónoma de Madrid, Máster en Asesoría Jurídico-Laboral por la Universidad Rey Juan Carlos (Madrid) y Graduado en Psicología por la UNED, su trayectoria profesional ha estado ligada desde sus inicios al sector portuario. Así, en 1993 se incorporó al Ente Público Puertos del Estado, en donde tras desempeñarse laboralmente en su Asesoría Jurídica y el Servicio de Estiba, asume en 2000 la Dirección de Organización y Planificación de Recursos Humanos de dicha entidad.

En 2002 fue nombrado Director-Gerente de la Sociedad Estatal de Estiba y Desestiba del Puerto de Valencia, cargo que ejerció hasta 2004, año en el que se hizo cargo de la Jefatura del Departamento Técnico del Servicio de Estiba de la Autoridad Portuaria de Valencia. Ya en 2005 retornó a Puertos del Estado, en donde responsabilizó, sucesivamente, de las Jefaturas de las Áreas de Ordenación del Servicio de Estiba (hasta 2012), de Coordinación de Recursos Humanos (hasta 2018), y de Apoyo Jurídico a la Explotación, puesto que ocupó hasta julio del pasado año, en el que es nombrado Director de la Autoridad Portuaria de Santander.



FRANCISCO L. MARTÍN GALLEGO

*Dr. en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.
Presidente. Autoridad Portuaria de Santander.*

Francisco Martín es Doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Cantabria, y docente de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander, habiendo ocupado desde 1998 plaza como profesor titular en la Sección de Ingeniería Oceanográfica del Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente de dicha Universidad.

Asimismo, ha desarrollado una amplia carrera docente en el extranjero (Universidades de Liverpool, Rhode Island, Fundación Europea de la Ciencia, Instituto Danés de Hidráulica, Instituto de Hidráulica de la Universidad Nacional de México, Universidad de la Reina de Belfast, de Edimburgo, de Oxford). También ha sido, de julio de 2011 a enero de 2013, Director de Transferencias Tecnológicas del Instituto de Hidráulica Ambiental, IH Cantabria, y Director de Área Experimental de dicho Organismo.

Por lo que respecta a su trayectoria política ha desempeñado los siguientes cargos en el Gobierno de Cantabria: Director General de Obras Hidráulicas y Ciclo Integral del Agua (2003/2007); Consejero de Medio Ambiente (2007/2011); y desde 2015 Consejero de Innovación, Industria, Turismo y Comercio. En febrero de 2021 es nombrado Presidente de la Autoridad Portuaria de Santander, habiendo ejercido como Vicepresidente de esta entidad durante el periodo que en que se desempeñó como Consejero de Innovación, Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de Cantabria.

RESUMEN

¿Cómo serán los puertos en 2050? ¿Cómo serán estas infraestructuras cuando la Inteligencia Artificial y su constelación de tecnologías asociadas estén plenamente integradas en sus “modus operandi” cotidianos? ¿Cómo habrán transformado estas tecnologías un sector vital para el funcionamiento del actual “modus vivendi” de la humanidad?

El propósito del presente ensayo no es dar respuesta a estos interrogantes ¿Cómo saber qué depara el futuro a los puertos? Si no, más bien, a través de una mirada inquieta al porvenir, tratar de construir un relato sencillo y lo más coherente posible respecto de algunos de los atributos -y sus correspondientes conceptualizaciones- que cabe esperar que caractericen al patrón del puerto del mañana: el puerto inteligente o Smart Port, una categoría de puerto que exigirá una capacidad cognitiva enorme...

Pero antes de alzar la mirada a lo venidero, el artículo lanza una visual hacia el pasado reciente para tratar de perfilar la naturaleza y dimensión del cambio en ciernes, tratando de identificar los grandes motores de transformación que han impulsado el presente de los puertos, y los que están espoleado su actual reinvencción.

Hacer conjeturas sobre cómo equiparse para el mundo que viene es un ejercicio que siempre merece la pena, aunque sólo sea para estimular la reflexión, promover el debate e imaginar posibilidades.

PALABRAS CLAVE

Puertos, digitalización, Smart Port, tecnologías exponenciales, capacidades cognitivas, talento, innovación.

1. REINVENTAR - REINVENTARSE

Pocas son las organizaciones que superan los cien años de existencia. En España solo el 42% de las empresas logra rebasar la primera década de vida, mientras que apenas el 35% de ellas consigue alcanzar la docena de años y únicamente una de cada cuatro llega celebrar su 25 aniversario¹.

¿Cuál es el secreto de la longevidad de las organizaciones? Algunos expertos apuntan que sobrevivir durante décadas a la competencia, al desgaste interno, a las crisis, las transformaciones sociales y económicas, etc., es el resultado de una acertada combinación de factores: flexibilidad, capacidad de reacción y resistencia; atención a las dinámicas del entorno; rodearse del talento necesario en cada momento, gestionar con éxito el riesgo... pero, y sobre todo, la clave de la supervivencia parece radicar en cuestionarse y reinventarse continuamente para tratar de generar más valor para la sociedad, clientes, propietarios y empleados².

Pero ¿qué quiere decir “reinventarse” y ¿qué significa “valor”? En esencia, reinventar consiste en someter a una nueva ideación algo existente. Reinventar una empresa, una organización³ tiene que ver con repensar y transformar su forma de ser, hacer y comportarse;

con aprender, con abandonar su zona de confort y atravesar la barrera hacia el cambio.

La noción de “valor” y sus expresiones operativas, -creación, extracción, destrucción-, está intrínsecamente asociada a la idea de riqueza. Valor y riqueza son términos que han sido definidos, entendidos y medidos de diferentes maneras a lo largo de la historia⁴. La profesora Carol A. Adams⁵, afirma que hoy, hacer dinero ya no se considera el único modo de crear valor de las empresas. De hecho, señala que gran parte del valor de una organización no figura ya en su hoja de balance, y que el capital financiero representa una parte cada vez menor del valor de una compañía, el cual debe definirse también en términos de otros tipos de capital: humano, natural, social, de relaciones e intelectual.

2. LA REINVENCIÓN DE LOS PUERTOS. LAS ÚLTIMAS CINCO DÉCADAS

Los puertos son infraestructuras particularmente longevas que se vienen reinventando física y organizativamente a través de la exploración de nuevas formas de crear valor; buscando, para ello, oportunidades incluso trascendiendo a los límites tradicionales del sector. Dinámica que evidencia la evolución experimentada por los puertos durante las últimas cinco décadas.

En los inicios de los años 90 del pasado siglo, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), elaboró una exitosa clasificación de los puertos que, basada en el nivel de desarrollo y de generación de valor de estas infraestructuras, establecía una secuencia de tres generaciones⁶, a la que en 1999 le añadió una cuarta⁷.

Ya en este siglo, esta nomenclatura experimentó la agregación oficiosa de una “quinta generación⁸” de puertos, a la que se caracterizó por el desarrollo de las TICS, de funciones logísticas avanzadas, y la introducción de las prácticas de la “wikinomia”, concepto acuñado por Don Tapscott⁹ para referirse al arte y a la ciencia de la colaboración masiva, fundamentada en cuatro potentes ideas novedosas: apertura, interacción entre iguales, compartir y actuación global.

Este modelo de clasificación evolutiva de los puertos, de desarrollo por adición, a semejanza de un proceso estratigráfico en el que se van superponiendo capas, si bien constituye una simplificación elemental de la realidad, pone de manifiesto el avance de estas infraestructuras hacia modelos organizativos y operativos crecientemente complejos.

En un ejercicio de generalización y síntesis, cabría afirmar que, en las transformaciones experimentadas por los puertos durante los últimos cincuenta años, subyacen, al menos, tres grandes “motores de cambio”.

2.1. Las fuerzas de la globalización

Así, y, en primer lugar, cabe mencionar a las fuerzas que han venido impulsando la conformación de una economía global¹⁰ que, entre otras cuestiones, han inducido la construcción de un mercado de dimensión planetaria¹¹ con capacidad de operar en tiempo real.

El funcionamiento de este mercado global ha exigido la creación de una compleja malla mundial que conecta redes de carreteras, vías ferroviarias y de navegación marítima, fluvial, y rutas aéreas, de escala continental, nacional, regional y local; en la que estas infraestructuras no tienen ya sentido en sí mismas, sino como elementos articuladores de una trama jerarquizada en la que la logística, la intermodalidad y la sincromodalidad actúan como factores determinantes de su operatividad.

En la base del funcionamiento de esta movilidad física global se encuentran, junto al desarrollo de las infraestructuras “lineales” (carreteras, tendidos ferroviarios, viaductos, túneles, etc.), y “nodales” (puertos, aeropuertos, plataformas logísticas, puertos secos, centros de transporte, etc.) que encauzan los desplazamientos en dicha red, los progresos tecnológicos experimentados por los distintos vehículos que circulan a través de ellas; los avances de las tecnologías de la información y las comunicaciones; y la capacidad organizativa, de gestión y coordinación de estos medios tecnológicos, expresada en los servicios de transporte y logística prestados por las empresas y entidades involucradas en su titularidad y uso.

Clasificación de los puertos según su nivel de desarrollo (UNCTAD)

				Logística Colaborativa E-Logistics Network Aprendizaje colaborativo Espacio de relaciones entre operadores
			Puerto en red Comunidad Portuaria Servicios logísticos integrados	Puerto en red Comunidad Portuaria Servicios logísticos integrados
		Centro logístico Plataforma internacional de comercio	Centro logístico Plataforma internacional de comercio	Centro logístico Plataforma internacional de comercio
	Centro de transporte y distribución	Centro de transporte y distribución	Centro de transporte y distribución	Centro de transporte y distribución
Interfase mar -tierra	Interfase mar -tierra	Interfase mar -tierra	Interfase mar -tierra	Interfase mar -tierra
1º GENERACIÓN	2º GENERACIÓN	3º GENERACIÓN	4º GENERACIÓN	5º GENERACIÓN

Figura 1. Evolución de los puertos según su nivel de desarrollo (UNCTAD).

Gráfico rediseñado a partir de Rodés y Luezas (2007). Mencionado en Garín, M. (2018). Aspectos Clave de la Evolución Portuaria.

Figura 2. Sistema de transporte global. Mapa elaborado por Globaia, la *geophanie*. Las ciudades están indicadas en amarillo; las rutas de transporte terrestre en verde; rutas marítimas por azul; y redes de vuelo en blanco.

Fuente: <https://globaia.org/geophanies>



Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas.

Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>



El transporte marítimo, que viene a representar el 90% del comercio mundial de mercancías¹², constituye la columna vertebral de esta red de transporte mundial; y los puertos, exigidos por el papel central que desempeñan en su funcionamiento, han ido transformado sus condiciones infraestructurales, tecnológicas, operativas y organizativas para responder al dinamismo y exigencias del resto de los actores intervinientes en la cadena de suministro¹³.

2.2. La Revolución Digital

Otro de los motores impulsores de las transformaciones experimentadas por los puertos durante las últimas cuatro décadas, radica en la denominada Revolución Digital¹⁴, cuya “primera ola”, que arrancó con prácticas tales como la digitación de los flujos documentales que acompañan a las mercancías en su paso por los puertos, y que, a impulso de la ley de Moore¹⁵, los ha llevado a implantar los *Port Community Systems*, la automatización de las terminales y su operativa, etc.¹⁶

2.3. Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible

El tercer motor de cambio portuario está asociado a la irrupción de una nueva conciencia colectiva respecto de la interdependencia de las actividades humanas y el medio natural, al arraigo de la creencia de que el porvenir y bienestar de la especie depende de la salud de la biosfera, del ecosistema global.

Este salto mental está inspirado y orientado por las ideas de sostenibilidad y Desarrollo Sostenible¹⁷, que, si bien desde su formulación y hasta tiempos recientes han venido funcionando principalmente como expresiones sugerentes y flexibles, capaces de generar ilusión y visiones del mundo compartidas¹⁸; no fue hasta 2015, con la aprobación por Naciones Unidas de la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible y sus 17 Objetivos¹⁹ referidos a los desafíos ambientales, políticos y económicos a los que se enfrenta la humanidad, cuando han adquirido traducción a propósitos, metas y compromisos operativos.

Los puertos, además de mantener una gran dependencia del medio natural en el que se desenvuelven -generalmente fachadas litorales y riveras fluviales caracterizadas por su fragilidad y gran valor ambiental, y frecuentemente en vecindad con núcleos urbanos-, tienen una más que notable capacidad de transformación de las condiciones y dinámicas de estos espacios.

Así, durante estos años, inspirados y orientados por las ideas de sostenibilidad y desarrollo sostenible y su tratamiento conceptual y operativo, organismos intergubernamentales y supranacionales, asociaciones internacionales, estados y los propios puertos, han venido elaborando y aplicando pensamiento estratégico, recomendaciones, guías de buenas prácticas, legislación y normativas que han ido transformado el comportamiento ambiental de los puertos y la convivencia de estas infraestructuras con sus núcleos urbanos vecinos²⁰.

3. PORT RESET²¹: HACIA UNA NUEVA REINVENCIÓN DE LOS PUERTOS

Todos los síntomas apuntan a que hoy los puertos y sus comunidades logísticas se enfrentan al embate una nueva onda disruptiva²², a un nuevo repensar y transformar su forma de ser, hacer y comportarse, impulsada, asimismo, por tres motores de cambio dotados de un formidable e inédito poder de combinación y reacción.

3.1. Las fuerzas de lo local

Si bien estas infraestructuras continúan estrechamente conectadas a los desafíos globales, y las fuerzas que sostienen el mercado planetario en el que se desenvuelven les siguen requiriendo mejoras continuas en eficiencia, rendimiento, flexibilidad, seguridad, etc.; de un tiempo a esta parte, los puertos vienen observando las señales de la creciente pujanza de las "fuerzas de lo local" sustancialmente renovadas. En efecto, su nuevo poderío, inspirado en los principios del Desarrollo Sostenible y aliado con el potencial creativo del avance tecnológico, está induciendo la forja de una floreciente percepción de la autoestima, de una nueva lógica respecto al valor de los recursos endógenos, la identidad y las propias habilidades para transformar las capacidades y singularidades locales en ventajas sostenibles.

Muestras del ímpetu de este motor de cambio son ya palpables en prácticas tales como el auge de la

denominada "producción de Km. Cero"²³, comportamiento de consumo asociado al pensamiento *Slow Food*²⁴, que promueve la compra de alimentos producidos a menos de 100 kilómetros de distancia. Esta producción agrícola de proximidad se está viendo reforzada por la alta tecnificación de las llamadas "granjas verticales", que hoy son ya capaces de producir cosechas 350 veces más abundantes que las explotaciones al aire libre usando menos de un 1% de agua²⁵.

La irrupción de las fuerzas locales también se manifiesta en la recuperación de la industria manufacturera, proceso enraizado con el movimiento *maker*²⁶ y protagonizado por una nueva generación de pequeñas empresas impulsadas por emprendedores innovadores que, utilizando métodos y herramientas de diseño y fabricación digital (software de diseño, escáneres e impresoras 3-D, cortadoras láser, fresadoras CNC, etc.) producen bienes físicos para mercados de nicho.

Un tercer ejemplo del empuje de estas fuerzas se advierte en otra importante tendencia: la generación local de la energía, la satisfacción de las necesidades energéticas mediante soluciones renovables a partir de los recursos del lugar, (placas solares fotovoltaicas, aerogeneradores, mareomotriz, etc.) con el propósito de minimizar la dependencia energética tanto de los combustibles fósiles como de otros territorios²⁷.

Comportamientos como los descritos, propios de estrategias de las llamadas *Smart Ciities*²⁸, que se han visto acelerados y fortalecidos por los efectos de la pandemia COVID 19, además de estimular la economía local con la creación de empresas y puestos de trabajo en sectores renovados, están transformado las estructuras de producción y consumo locales, con el correspondiente efecto sobre los puertos.

3.2. El relevo generacional

El segundo motor de cambio está asociado a la sustitución generacional que se está produciendo en la sociedad. Un proceso demográfico de dimensión global en el que, en esencia, confluyen e interactúan, simultáneamente, las dinámicas de tres generaciones: "Generación X", "Generación Y", y "Generación Z", configuradas por segmentos poblacionales diferentes, sucesivos, cronológicamente identificables por haber nacido sus miembros en un mismo intervalo de tiempo, y por contar con un marco común de valores, creencias, aspiraciones, etc.²⁹

Dichas dinámicas consisten en la retirada del mundo laboral de las primeras cohortes de la “Generación X”; la progresiva ascensión de la “Generación Y”, la de los *Millennials*, a los espacios de gobernanza política, empresarial, institucional, etc.; y la entrada en el mercado de trabajo de los primeros miembros de la “Generación Z”.

Estas dos últimas generaciones traen consigo una nueva mentalidad: formas de pensar, propósitos, metas, valores y hábitos de comportamiento diferentes, que están reescribiendo los “modus vivendi” y “modus operandi” de comunidades y mercados, las relaciones sociales, la actividad laboral y empresarial, y, asimismo, los puertos. Ambas comparten algunos rasgos comunes. Así, y entre otras cuestiones, se caracterizan por haber crecido en un contexto marcado por la revolución digital y hacer un uso intensivo y cotidiano de estas tecnologías³⁰.

3.3. La 2ª ola de digitalización. Las Tecnologías Exponenciales

La tercera fuerza propulsora de la corriente disruptiva a la que hoy están expuestos los puertos, y quizá la más poderosa por su facultad de ampliar las capacidades y posibilidades humanas, y de modificar las formas de pensar, sentir y actuar de la sociedad, es de índole tecnológica³¹: la segunda ola de digitalización; protagonizada, con la Inteligencia Artificial (IA) al frente, por las denominadas Tecnologías Exponenciales.

Las Tecnologías Exponenciales (Tx) se caracterizan por seguir las pautas de crecimiento de la mencionada

Ley de Moore, y de la Ley de Rendimientos Acelerados formulada por Ray Kurzweil³²; de tal modo que, partiendo de un ritmo de desarrollo aparentemente lento, su potencia y / o la velocidad avanza duplicándose cada año al tiempo que el coste se reduce a la mitad.

Este tipo de tecnologías, entre las que se encuentran, además de la citada Inteligencia Artificial y su espectro de tecnologías relacionadas (computación de alto rendimiento, *big data*, ciencia de datos, aprendizaje automático...), la realidad aumentada y virtual, biología digital y biotecnología, nanotecnología y fabricación digital, redes, robótica, vehículos autónomos, etc., se caracterizan por su gran poder de transformación y cambio disruptivo, extensivo a todas las esferas de la actividad humana³³.

Estas tecnologías se encuentran, en gran medida, en la base de la denominada “transformación digital” de empresas y organizaciones. Hoy, “digitalizar” no sólo consiste en transferir materia a código binario, en desmaterializar objetos físicos o señales analógicas mediante representaciones digitales. La expresión “digitalizar” ha ido ampliando su significación para denominar a una serie de procesos de doble dirección que discurren en entre lo analógico y lo digital, lo real y lo virtual, lo rígido y lo flexible, lo sólido y lo fluido.

Uno de estos procesos consiste en reducir la masa de los objetos, incluso su volumen, sustituyendo en su elaboración átomos por *bits* (diseño y fabricación inteligente) confiriéndoles más ligereza, calidad y menor coste. Otro consiste en dotarles de esencia digital, otorgarles cierta inteligencia integrando en su materia chips.

Figura 4. Tecnologías Exponenciales.

Elaboración propia.



Digitalizar es, también, captar la información que contienen y producen los objetos. Una vez que se digitaliza algo adquiere propiedades de flujo, se liberan sus límites, pudiendo adaptarse, duplicarse, recombinarse, rebobinarse³⁴. Tratar digitalmente la realidad también tiene su traslación inversa: la materialización de bits en átomos, es decir, la realización física de objetos concebidos y representados digitalmente mediante software de diseño e impresoras de 3D³⁵.

El otro fundamento clave de la “transformación digital” se encuentra en la estructura comunicativa por la que fluyen los bits, su patrón organizativo: las redes digitales, que tienen a Internet como soporte clave para producir, distribuir y utilizar información. Si bien la estructura en red existe desde hace mucho tiempo como forma de organización social y productiva, la masiva introducción de tecnologías digitales, que permiten la colaboración intensiva a escala planetaria y en tiempo real, ha liberado toda su potencialidad para reestructurar la actividad humana, convirtiéndose en la base de un paradigma social³⁶.

4 SMART PORT: EL PATRÓN DEL PUERTO DEL MAÑANA

Así, inducidos por los motores de cambio descritos, los puertos y sus comunidades logísticas se enfrentan a una nueva reinención, a la forja de un nuevo eslabón de su cadena evolutiva, para la que han surgido denominaciones tales como: Puertos 4.0³⁷ o *Smart Port* en analogía con el paradigma surgido del ámbito urbano de las *Smart Cities*.

Ahora bien, todas las pruebas parecen indicar que la naturaleza del nuevo patrón de puerto en ciernes es sustancialmente diferente al de etapas precedentes. Aplicando la expresión geométrico-numérica ideada por Peter Thiel³⁸ para explicar su manera de entender las formas de progreso a la nomenclatura concebida por la UNCTAD, cabría concluir que a lo largo de las últimas décadas el desarrollo de los puertos ha sido de carácter “horizontal”, de “uno” a “n”; es decir, a través de sucesivas versiones incrementales, mejoradas, de una misma cosa.

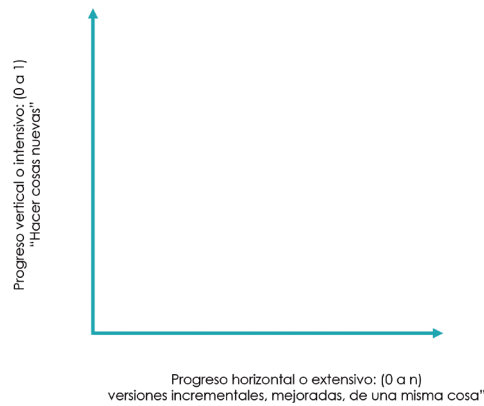


Figura 5. Las formas de progreso según Peter Thiel.

Fuente: Thiel, P. (2015) De cero a uno. Barcelona. Gestión 2000.

Así, y conforme a la expresión creada por Thiel, la naturaleza del nuevo avance en el que se encuentran inmersos los puertos cabría calificarla de “vertical”; es decir, del “cero a uno”, circunstancia que se produce cada vez que se crea algo nuevo.

Clasificación de los puertos según su nivel de desarrollo (UNCTAD)

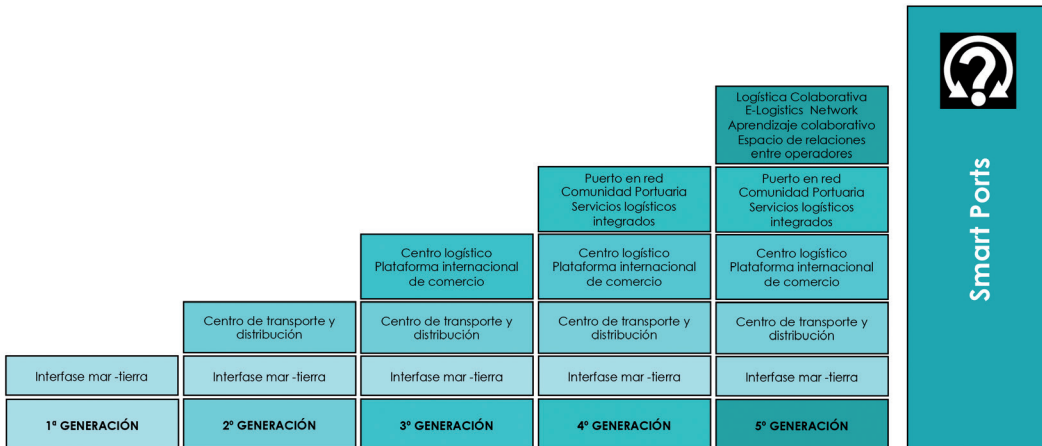


Figura 6. Smart Port. La nueva generación de puertos.

Elaboración propia a partir de Rodés y Luezas (2007). Mencionado en Garín, M. (2018). Aspectos Clave de la Evolución Portuaria.

En efecto, por su potencial para reinventarlo todo, la irrupción en los puertos de la Inteligencia Artificial (IA) y las Tecnologías Exponenciales (Tx) -con las que combina asombrosamente para fortalecer y acelerar sus poderes de transformación- promete ir más allá de una nueva mejora incremental, para impulsar disrupciones en los patrones organizativos, operativos y de gestión de estas infraestructuras; en sus reglas de juego y modelos de negocio. Augura la redefinición de sus fronteras y, en línea con la afirmación de Kevin Kelly³⁹ de que “la mayor parte de las tecnologías importantes que dominarán la vida de aquí en treinta años, aún no se han inventado”, la forja de nuevos paradigmas aún por visualizar.

Por ello, hoy, el término *Smart Port*, más que otra cosa, es un pensamiento original; una idea en esbozo aún no imaginada por completo; un constructo mental en elaboración; una expresión incipiente que se encuentra en sus fases más tempranas de gestación y materialización.

Tratando de hacer un paralelismo con la nomenclatura concebida por la NASA para medir el grado de madurez de una tecnología⁴⁰, los *Smart Ports* estarían situados hoy en los niveles TRL1, TRL2 y TRL3; es decir, en fase de formulación de sus propiedades básicas, de descubrimiento de su arquitectura, de especulación sobre sus posibilidades, de experimentación de sus primeras aplicaciones prácticas...

4.1. Misión de un Smart Port TRL9

En este proceso de vaticinar sobre las formas de ser, hacer y proceder del puerto del porvenir, cabría afirmar que, si bien la “misión” de un *Smart Port* de nivel TRL9

seguirá siendo la misma que la de un puerto actual; es decir, contribuir a generar riqueza para la sociedad, su manera de generar y agregar valor será a través de comportamientos “sostenibles”.

Esta nueva forma de generar riqueza se fundamenta en el respeto y praxis de dos paradigmas que comienzan a ser binomio indisoluble e imperativo cuestionable en la orientación estratégica y gestión de cualquier organización: “sostenibilidad” y “competitividad”. No se puede ser sostenible sin capacidad competitiva, ni competitivo sin ser sostenible⁴¹. En términos expresados por la Unión Europea⁴²: crear riqueza y crecer de forma más inteligente (conocimiento e innovación), más sostenible (uso más eficiente de los recursos, compromiso ambiental), y más integradora e inclusiva (cohesión social y territorial, menos desigual).

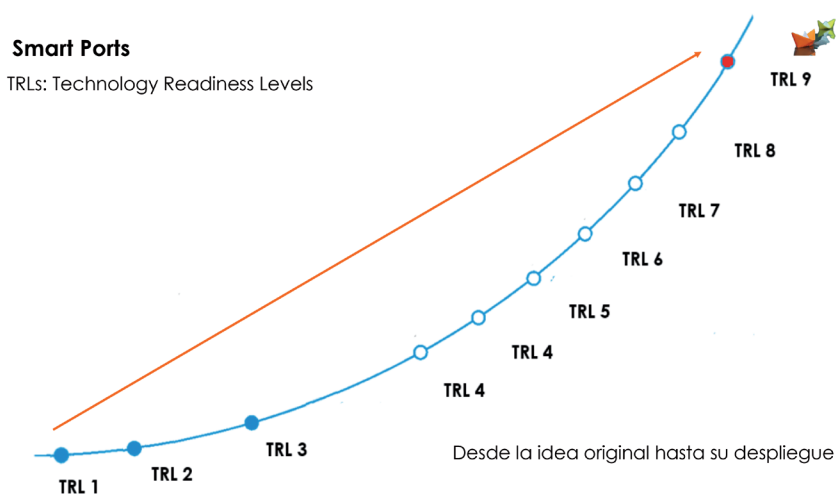
4.2. Competitividad y productividad

En este contexto, la expresión “competitividad” hace referencia a la capacidad de poseer, dotarse, desarrollar y mantener atributos diferenciales, cualidades que proporcionen ventajas frente a terceros con los que se rivaliza por una misma cosa, singularidades que otorguen una posición destacada o de superioridad respecto a contrapartes.

Uno de los factores determinantes de la capacidad de competir de empresas, organizaciones y territorios radica en su “productividad”, expresión que relaciona la cantidad de producción obtenida con los medios utilizados para generarla. Se trata, por tanto, de un indicador que mide, ya sea en unidades físicas o en términos de valor, la eficiencia con la que se elaboran bienes o se prestan servicios.

Figura 7. Niveles de madurez de los Smart Ports. TRLs.

Elaboración propia.



Se es más productivo si se es capaz de incrementar la producción con los mismos medios, o de producir la misma cantidad, o más, empleando menos recursos. Incrementar la productividad implica hacer más eficiente la forma en la que se organizan los recursos disponibles para producir más o producir mejor; mejorar, o variar las condiciones de su uso para generar más valor. Aumentar la productividad implica hacer las cosas cada vez mejor.

La “productividad” no sólo expresa la capacidad de competir de una organización, sino que es el principal determinante de los niveles de vida de una sociedad⁴³. El potencial de generación de riqueza reside en la habilidad de las empresas para lograr elevados niveles de productividad e incrementarla a lo largo del tiempo. El incremento de la productividad⁴⁴ es la clave para impulsar el crecimiento económico, de los beneficios, de los salarios, el empleo de la inversión, etc. La historia de la humanidad es una historia de mejoras constantes de productividad⁴⁵, la fuente perenne de creación de riqueza⁴⁶.

4.3. Conocimiento y aprendizaje

Y en esta receta de la productividad, el factor “conocimiento”, información procesada con valor⁴⁷, emerge como ingrediente crítico. En efecto, el aumento de la productividad no depende ya del incremento cuantitativo de los clásicos elementos estructurales del proceso productivo (capital, trabajo, recursos naturales), sino de la aplicación de conocimiento a la gestión, producción, y distribución, tanto en procesos como en productos. La generación y procesamiento estratégico de información se han convertido en los factores esenciales de la productividad y competitividad⁴⁸.

El físico César Hidalgo⁴⁹, experto en *big data* e inteligencia artificial, señala que información “no es una cosa, sino el orden de las cosas”. La información tiene una naturaleza física, no se limita a los mensajes, sino que es inherente a todas las estructuras que componen la realidad, cuya organización y orden físico es manifestación de la información.

Conocimiento⁵⁰ es una representación formal (más o menos fiel) de la realidad, un pensamiento, simplificado, codificado y empaquetado para su transmisión (más o menos fiel) por vía no genética a otra mente. El conocimiento es un producto que se levanta sobre un sistema de preguntas, es información procesada. Es el remedio que ayuda a reducir los niveles de ansiedad provocados por la incertidumbre del entorno.

Así, y prosiguiendo con las conjeturas sobre los componentes clave del ADN de un *Smart Port*, el uso intensivo de información y conocimiento está llamado a desempeñar un papel trascendental tanto en sus formas de hacer y comportarse para ser competitivo y crear valor, como en sus esfuerzos para adaptarse y perseverar en un entorno en continuo cambio.

Por tanto, un *Smart Port* TRL9 será una organización en permanente estado de “aprendizaje”⁵¹, es decir, que asimila, genera, gestiona y aplica⁵² constantemente conocimiento relevante; y “desaprendizaje”⁵³, que no es el reverso de aprender, sino que consiste en reprogramarse para nuevos contextos, amortizando aquellas recetas que en el pasado procuraron éxito, pero que forman parte de una realidad que dejó de existir. Tal y como afirma José Antonio Marina⁵⁴ “aprender es el recurso de la inteligencia para sobrevivir y progresar en un entorno cambiante”.

4.4. Innovación

El conocimiento es también ingrediente clave de la “innovación”, componente esencial del ADN de un *Smart Port* TRL9, esencial para su nueva forma de generar y “hacer evolucionar el valor”⁵⁵: la capacidad de innovar, de encontrar aplicaciones útiles al conocimiento. La innovación -conocimiento aplicado- se alimenta de conocimiento y produce conocimiento.

La realidad, y la percepción de ella, se encuentran en constante transformación. Más lenta o más velozmente sus cualidades varían o se modifican, convirtiéndola en diferente. El mecanismo de reacción frente al cambio, la respuesta para intentar perseverar ante las nuevas circunstancias ha sido siempre la innovación, ya sea para tratar de adaptarse a ellas o para procurar su transformación. Mark F. Schultz⁵⁶, señala que la “innovación desafía las reglas de la escasez porque brinda a la humanidad un regalo tras otro y hace posible que la economía produzca más utilizando los mismos o menos recursos”.

Si la información va camino de constituirse en el activo más importante de la economía⁵⁷, la innovación viene siendo calificada por algunos de los expertos más reconocidos⁵⁸ como “la savia de nuestra economía global y una prioridad estratégica para casi todos los consejeros delegados del mundo”.

Dreide McCloskey⁵⁹, experta en historia económica, afirma que el “innovismo”, inspirador de “la mejora comercialmente probada”, de la teoría de “destrucción creativa”⁶⁰ -la idea nueva que sustituye a la

vieja- ha sido la práctica que ha impulsado el enriquecimiento y la mejora del nivel de vida de la humanidad durante los últimos 200 años.

Si bien existen muchas definiciones de innovación⁶¹, especialmente en el ámbito empresarial, todas ellas hacen referencia a cambio y a novedad: realizar cosas que antes no se hacían, crear e implementar cosas que antes no existían, hacer cosas antiguas de una manera nueva; modificar, combinar cosas para dotarlas de nuevas utilidades, abrir un nuevo mercado; introducir cambios en la gestión y comportamientos de una organización, etc.

Para Matt Ridley⁶², la “innovación, como la evolución, es un proceso que consiste en el descubrimiento constante de maneras útiles de reordenar el mundo con poca probabilidad de emerger por casualidad.” En palabras de Luis Pérez-Breva⁶³, director del programa de innovación aplicada MIT Innovation Teams, innovación es “novedad con impacto”, enunciado que hace referencia al producto resultante del proceso de tratar de convertir ideas nuevas en soluciones valiosas.

4.5. Sistema inmunitario

Otro de los elementos distintivos de un *Smart Port* TRL9 radica en el sistema de defensa que emplea para hacer frente a las disrupciones, para mantenerse relevante y perseverar ante la incertidumbre. En efecto, su “sistema inmunitario” cuenta con dos mecanismos de respuesta que funcionan continua y simultáneamente⁶⁴: “estar en el día a día” y “estar en el mañana”.

En esencia, el dispositivo “estar en el día a día” consiste en gestionar la explotación del porfolio actual de productos y servicios del puerto en clave de crecimiento y fortalecimiento, protegiéndolos, mejorándolos a través de su actualización continua, o, llegado el caso, reinventándolos.

El mecanismo de reacción “estar en el mañana” se centra en gestionar la exploración sistemática de nuevas ideas, propuestas de valor, etc., que puedan cristalizar en la implementación de productos y servicios capaces de actuar como nuevos motores de crecimiento que afiancen el futuro del puerto. Esta labor de exploración no queda circunscrita a los límites específicos propios del sector, sino que los trasciende, redefiniendo así sus fronteras. De este modo, el campo semántico de los puertos, generalmente ceñido a términos como transporte y logística y el conjunto

de palabras con significados relacionados, se expande para ampliarse a expresiones como “comunicación” o “movilidad”⁶⁵; conceptos, todos ellos, que, en esencia, se encuentran vinculados por un propósito común: el desplazamiento espacial de información, bienes materiales y personas.

4.6. Inteligencia

Otro elemento clave del ADN de un *Smart Port* TRL9 radica en que el desempeño de sus tareas cognitivas, es decir, de las funciones y procesos relacionados con la captación, procesamiento y utilización de la información necesaria para entender y relacionarse con el entorno, serán llevadas a cabo por personas (inteligencia humana) y máquinas (inteligencia artificial), que colaborarán y se complementarán aportando lo mejor de cada parte.

¿Qué significa inteligencia? Se trata de un término ambiguo y de contorno borroso. El poeta y ensayista alemán Hans Magnus Enzensberger, en un breve ensayo dedicado a desentrañar el significado de esta palabra⁶⁶, concluyó con la siguiente reflexión: “no somos lo suficientemente inteligentes para saber qué es la inteligencia”.

Jorge Wagensberg⁶⁷ define inteligencia como “capacidad para anticipar la incertidumbre del entorno”, y justifica su existencia en razón a que el repertorio de los errores es colosalmente mayor que el de los aciertos. En un mundo en el que los aciertos fuesen más probables que los errores, sería muy difícil encontrar inteligencia, por inútil y por superflua. La inteligencia -afirma- es una prestigiosa estrategia para relacionarse con el resto del mundo, señalando que en la Naturaleza se presenta en cuatro categorías o grados.

De la misma forma, y en línea con lo planteado por Howard Gardner en su teoría de las inteligencias múltiples⁶⁸, cuando se habla de inteligencia humana⁶⁹ resulta más apropiado utilizar dicho término en plural. En efecto, Gardner, que considera que la inteligencia varía conforme al contexto en el que el individuo se desenvuelve, y define el término como una habilidad para resolver problemas o producir productos relevantes al menos un contexto cultural determinado, ha identificado ocho tipos diferentes de inteligencias, que trabajan juntas para resolver problemas y alcanzar metas.

Consecuentemente, no sólo parecen existir distintos grados de inteligencia, sino que también conviven y concurren distintas formas de ser inteligente.

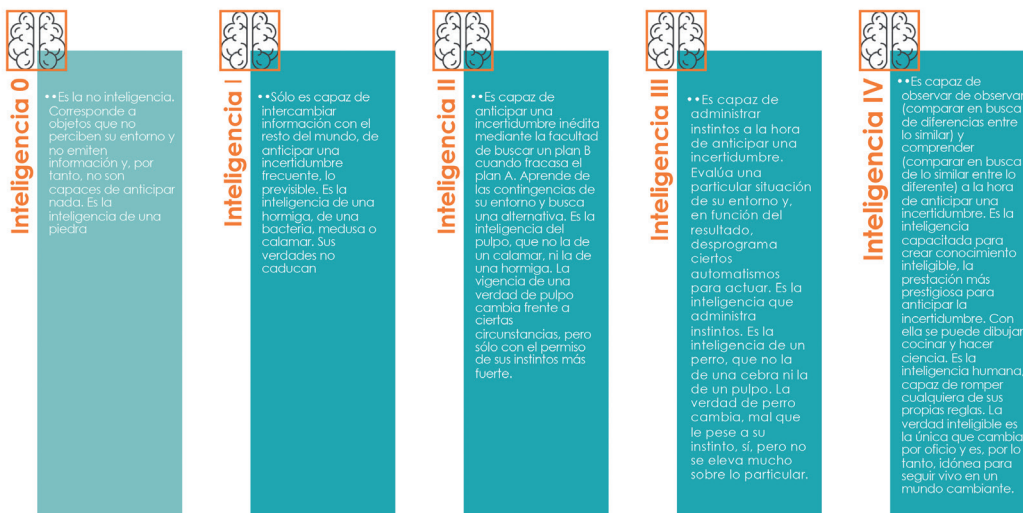


Figura 8. Grados de Inteligencia (Wagensberg).

Elaboración propia.

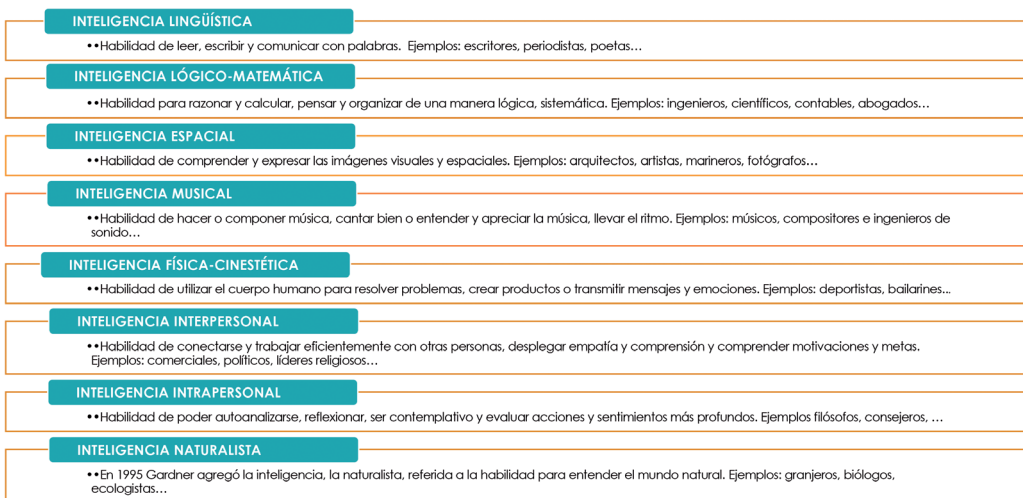


Figura 9. Tipos de Inteligencia (Gardner).

Elaboración propia.

La inteligencia ha sido siempre una cualidad apreciada y deseada. Entre los viejos sueños de la humanidad se encuentran tanto el afán de incrementar los niveles de inteligencia, como el de dotar de esta propiedad a las cosas que no la tienen; procesos que llevarían a situar la relación de la humanidad con la realidad a una nueva escala.

Eliezer S. Yudkowsky⁷⁰, investigador experto en inteligencia artificial y cofundador del Machine Intelligence Research Institute, logró expresar de forma breve y sencilla este cambio de escala a través del siguiente razonamiento: “No hay problemas difíciles, solo problemas que son difíciles para un cierto nivel

de inteligencia. Auméntese (el nivel de inteligencia) un poco y, de repente, algunos problemas pasarán de ser imposibles a obvios. Auméntese este considerablemente y todos ellos se convertirán en obvios.”

La inteligencia artificial (IA), definida por el Parlamento Europeo⁷¹ como “la habilidad de una máquina de presentar las mismas capacidades que los seres humanos, como el razonamiento, el aprendizaje, la creatividad y la capacidad de planear”, es la tecnología que viene a ejercitar estas habilidades propiamente humanas; y que, adicionalmente, aporta capacidades exclusivamente no humanas, como la conectividad y la actualización instantánea⁷².

La IA es una tecnología de propósito general, capaz de dotar de inteligencia a todo lo que nos rodea; aplicable a cualquier campo de actividad, tiene la capacidad de “cambiarlo todo”. Sundar Pichai, director ejecutivo de Google, en una entrevista concedida hace unos años⁷³ decía que “La inteligencia artificial (IA) es la cosa más importante en la que ha trabajado nunca la humanidad. Un cambio más profundo que la electricidad o el fuego”.

Convencidos de sus enormes potencialidades, y de que el desarrollo de la IA no sólo implica crecimiento económico, sino influencia política, los países más avanzados del mundo han introducido a esta tecnología en sus agendas de gobierno, diseñando ambiciosos planes y estrategias de impulso de sus propios tejidos tecnológicos vinculados a la inteligencia artificial ⁷⁴.

La IA no sólo cuenta ya con numerosas aplicaciones que aportan valor a las actividades cotidianas (correo electrónico, asistentes de voz, motores de búsqueda, aplicaciones GPS, traducción automática, etc.), sino que está comenzando a cambiar parcelas tan relevantes como la salud, la seguridad, el ocio; y a medio plazo se espera que impacte con gran ímpetu sobre sectores como la energía, el transporte, la educación o la vida doméstica⁷⁵.

La IA y su espectro de tecnologías relacionadas, está ya detrás de la automatización y personalización de los servicios y operaciones de los puertos; y, día tras día, irá extendiendo su presencia a ámbitos tales

como la toma de decisiones, la gestión administrativa, la predicción, el descubrimiento de problemas y oportunidades, el hallazgo de soluciones...

Tal y como afirma Kevin Kelley⁷⁶, “no hay prácticamente límites para lo que podemos hacer nuevo, diferente o más valioso añadiéndole IA”. La cognición artificial, al ser combinada con cada uno de los componentes de la “cadena de valor” de los puertos, permitirá, entre otras cosas, extraer el valor oculto de las inmensas masas de datos que cada uno de ellos genera diariamente, acelerando su eficiencia, productividad y transformación; cambiar la naturaleza de la competencia en los puertos; etc.

Una de las acciones estratégicas de mayor exigencia para el progreso del nivel de madurez del patrón *Smart Port*, y que a buen seguro se constituirá en uno de los principales retos y ocupaciones del sector durante los próximos años, podría sintetizarse en la siguiente expresión: “coge un componente de la “cadena de valor” del puerto y añádele IA”; empezando, quizá, por aquellas áreas estratégicas en las que esta tecnología agregue más valor y diferenciación.

En su conjunto, este proceso permitirá ir constituyendo una “IA portuaria” que, conformada por distintos tipos y niveles de inteligencia, perfeccionará y ampliará el catálogo de habilidades de los puertos para resolver los diferentes géneros de problemas a los que tenga que enfrentarse; hacer más eficientes sus actuales productos y servicios; concebir e implementar otros nuevos... hacer cosas nuevas valiosas.

Figura 10. Principales componentes de la cadena de valor de una Autoridad Portuaria y su comunidad logística.

Elaboración propia.

COMPONENTES DE LA CADENA DE VALOR



5. EL DESPLIEGUE DEL SMART PORT: INVERTIR EN INTELIGENCIA

En un ejercicio de simplificación, quizá un tanto extrema, cabría afirmar que los puertos tienen dos tipos de capacidades: la física y la cognitiva. En línea con lo expresado en este ensayo, reinventarse como *Smart Port* implica, además de mantener y desarrollar las capacidades físicas, estimular, desplegar, expandir e incrementar las capacidades cognitivas,

Se trata, por tanto, de invertir en inteligencia o, mejor dicho, en inteligencias, la humana (talento) y la de máquina (tecnología), con el propósito de que el puerto aprenda, cuando menos, a la misma velocidad que cambia el entorno, para sobrevivir; o a mayor rapidez que las dinámicas de éste, para progresar.

5.1. Talento

En palabras de José Antonio Marina⁷⁷, talento “es la inteligencia que elige bien las metas, maneja la información, gestiona las emociones y pone en práctica las virtudes de la acción necesarias para alcanzarlas, ampliar su capacidad de acción y conseguir una mejora continua. Es un concepto valorativo. Una acción y no una capacidad. Es el acto de invertir bien la inteligencia”.

Se trata, por tanto, de una parte, de movilizar el talento interno de los puertos y sus comunidades logísticas, de detectar sus fortalezas y debilidades, de retenerlo; de ampliar sus capacidades de aprendizaje, de introducir nuevas formas de trabajar para aprovechar y multiplicar su potencial. Y, de otra, de atraer

talento externo, de articular vínculos de colaboración, de promover y participar en redes de conocimiento especializado a través de figuras tales como los ecosistemas de innovación.

A efectos operativos, la inversión en talento implica implementar iniciativas alrededor de al menos cinco ejes de acción estratégica.

La idea de “creatividad” ha sido objeto de atención de relevantes científicos, artistas, escritores, filósofos, etc., que han intentado explicar, describir, detallar y diseccionar su naturaleza. María Popova⁷⁸ propone la siguiente definición: “Capacidad de aprovechar nuestra reserva mental de recursos: conocimiento, intuición, información, inspiración, y todos los fragmentos que pueblan nuestra mente... y combinarlos de maneras nuevas y extraordinarias”.

“La creatividad es el proceso de generar ideas originales que tienen valor⁷⁹; la “habilidad para alumbrar cosas nuevas y valiosas⁸⁰”, con alguna cualidad apreciable: eficacia, belleza, utilidad, etc.

En palabras de Jorge Wagensberg⁸¹, “una idea es un germen de conocimiento, una comprensión sin pulir, una chispa sin llama capaz de seguir engendrando conocimiento”. Las ideas, son la energía que ha movido y mueve el progreso de la humanidad. En la base de toda construcción humana, material o inmaterial, subyace una idea. Las ideas ayudan a vivir, a vivir mejor; a incrementar el grado de independencia respecto de la realidad que nos rodea, a perseverar frente a la incertidumbre del entorno.

Andamiaje cognitivo de un Smart Port “Talento”

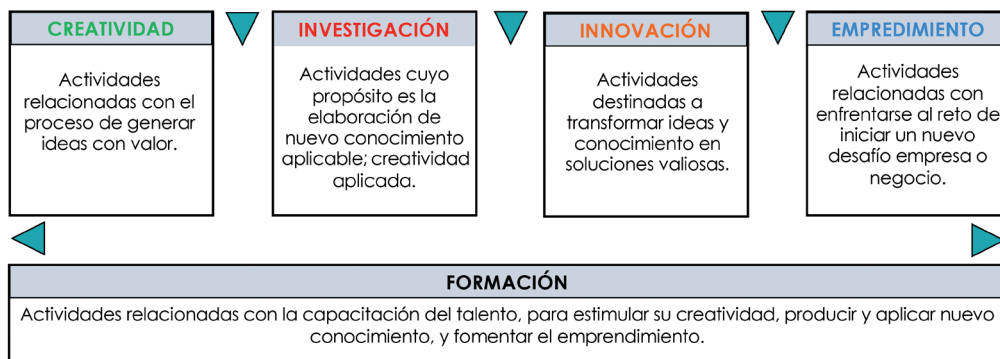


Figura 11. Andamiaje cognitivo de un Smart Port: Talento.

Elaboración propia.

Las ideas son un recurso inagotable, al que no le afecta la ley de rendimientos decrecientes. Al contrario, su consumo conduce a rendimientos crecientes. Cuando las ideas se comparten, las posibilidades no se suman, sino que se multiplican; tal y como expresó George Bernard Shaw a través de la siguiente reflexión: “Si tú tienes una manzana y yo tengo una manzana y las intercambiamos, tanto tú como yo seguiremos teniendo una manzana cada uno. Sin embargo, si tú tienes una idea y yo tengo una idea y las intercambiamos, entonces cada uno de nosotros tendrá dos ideas.”

Y el sustrato de la creatividad es la “imaginación”, sin imaginación no hay creación. La creatividad es poner a trabajar la imaginación. La creatividad es la imaginación trabajando⁸², aplicar la imaginación. Recurriendo nuevamente a un razonamiento de George Bernard Shaw, “la imaginación es el principio de la creación. Imaginas lo que deseas, persigues lo que imaginas y, finalmente, creas lo que persigues.”

Imaginar lo que no ha existido nunca, discurrir ideas originales con valor, al igual que la voluntad y perseverancia para llevarlas a la práctica, son los comportamientos humanos en los que se basa la innovación. Pero tener ideas, buenas ideas, no es suficiente. Para que una innovación tenga efectos debe ser implementada empresarialmente.

A las personas que llevan a cabo este tipo de prácticas se les denomina innovadores emprendedores, individuos con capacidad para concebir e iniciar proyectos y/o de ejecutarlos y gestionarlos. A la voluntad de hacer operativas la creatividad y la innovación,

al acto de pasar a la acción, de hacer que las cosas sucedan, de que las ideas cobren vida y convertirlas en innovaciones exitosas, se le denomina “emprendimiento”. Emprender es asumir riesgos y superar fracasos. Gary Hamel⁸³, uno de los referentes mundiales de la gestión y la estrategia empresarial, afirma que “la innovación sigue una ley exponencial: por cada 1.000 ideas descabelladas solo 100 merecerán que se experimente con ellas. De estas 100, no más de 10 que serán dignas de inversión significativa, y solo dos o tres producirán finalmente beneficios”.

5.2. Tecnología

La tecnología es una forma de conocimiento; concretamente, conocimiento organizado y aplicado a tareas prácticas. Por tanto, la tecnología y la técnica⁸⁴ articulan conocimiento y acción; y, si bien su objetivo prioritario es cambiar la realidad, también transforma la manera en la que la conocemos, y nos pone en contacto con nuevas realidades, expandiendo así la percepción y conocimiento de ésta.

Las tecnologías, que se manifiestan en artefactos físicos (utensilios, materiales, materia viva, herramientas, instrumentos, maquinas, etc.) e inmateriales (organización, modos de hacer, algoritmos...) aparecen, desaparecen, reaparecen, evolucionan y se mezclan y combinan entre sí para engendrar nuevas tecnologías más sofisticadas.

En esencia, desde un punto de vista estratégico, la inversión en tecnología cognitiva de un *Smart Port* se focaliza alrededor de la IA su constelación de tecnologías relacionadas (aprendizaje automático,

Andamiaje cognitivo de un Smart Port “Tecnología”

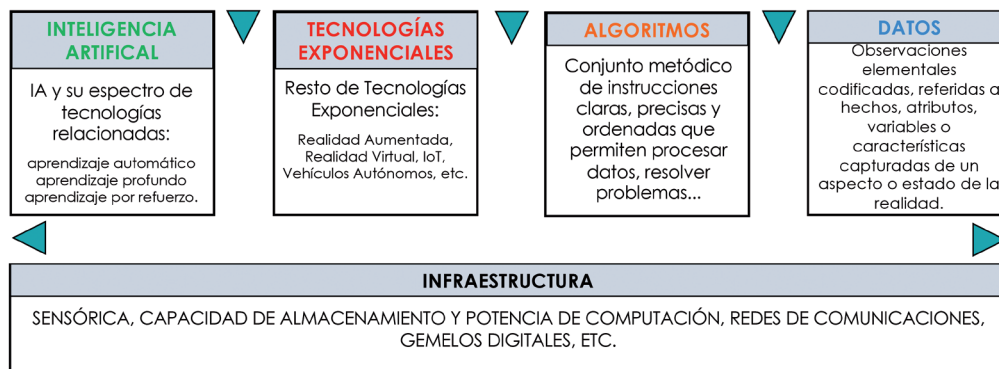


Figura 12. Andamiaje cognitivo de un Smart Port: Tecnología.

Elaboración propia.

aprendizaje profundo, aprendizaje por refuerzo) y el resto de “exponenciales”; la infraestructura asociada al despliegue y operatividad de dichas tecnologías (sensórica, capacidad de almacenamiento y potencia de computación, redes de comunicaciones, gemelos digitales, etc.); algoritmos y datos.

De todos los componentes enumerados, quizá, el más crítico sea el relativo a los datos, ya que el entramado tecnológico descrito se sustenta en la calidad, abundancia y fiabilidad de este elemento.

Al respecto de la importancia de los datos y su tratamiento por las empresas, Thomas L. Friedman⁸⁵ señala: “Porque la diferencia entre los que usan los Big Data para crear inteligencia artificial y analizar, optimizar, personalizar, profetizar y automatizar, y aquellos que no, serán ingente. Aquellos que puedan analizar enormes cantidades de datos serán capaces de detectar tendencias que nunca hayan visto previamente; aquellos que sepan optimizar el plan de vuelo de un avión tendrán más ahorro de energía que nunca anteriormente; aquellos que sepan personalizar sus productos o servicios para cada cliente específico dominarán a sus rivales como nunca lo habían hecho; y aquellos que puedan profetizar cuando se romperá la pieza de un ascensor o el motor de un avión y la reemplacen antes de que ocurra, ahorrarán a sus clientes más dinero que nunca. Finalmente, aquellos que sepan reproducir una idea en un ordenador -es decir, crear un gemelo digital de cualquier cosa, desde un puente a un arma nuclear- y probarla antes de construirla, ahorrarán tiempo, dinero y recursos como nunca anteriormente”.

Los datos, y sus productos derivados: información y conocimiento, sostienen y avivan la actividad de las dos grandes categorías de inteligencia presentes en un *Smart Port*. Y ambas, a través de los datos, interactúan entre sí a modo de círculo virtuoso. Según Kai-Fu Lee⁸⁶, presidente del Artificial Intelligence Institute de Sinovación Ventures “Cuantos más datos tengas, mejor será tu producto. Cuánto mejor sea tu producto, más datos podrás recopilar; cuantos más datos recopiles, más talento podrás atraer; cuanto más talento puedas atraer, tanto mejor será tu producto”.

Un círculo virtuoso que alimenta el aprendizaje del puerto; que empuja su competitividad y nutre su sostenibilidad; que forja valor; que produce el saber necesario para dirigir acertadamente sus comportamientos; que pilota su reinención... y mucho más allá...

NOTAS

1. **Muñoz, J. (2019, 24 de octubre)** “Solo 1 de cada 4 empresas llega a los 25 años”. Capital Madrid. Citando los resultados de un estudio realizado por Iberinform.
2. **Osterwalder, Alexander et al. (2020).** *La empresa invencible*. Barcelona: Ed. Empresa Activa. P. IX-XI.
3. Sobre la reinención de las organizaciones resulta estimulante la lectura de **Laloux, Frederic (2017).** *Reinventar las organizaciones*. Barcelona: Ed. Arpa. 495 págs. y **VV.AA. (2014).** *Reinventar la empresa en la era digital*. Madrid: Ed. BBVA/Turner. 449 págs.
4. Un interesante ensayo sobre el origen, la naturaleza y comprensión de los conceptos de valor y riqueza puede consultarse en **Mazzucato, Mariana (2019).** *El valor de las cosas. Quién produce y quién gana en la economía global*. Barcelona: Ed. Taurus. 479 págs.
5. **Adams, Carol A. (2014).** “Sostenibilidad y la empresa del futuro”. VV.AA. *Reinventar la empresa en la era digital*. Madrid: Ed. BBVA/Turner. Pág. 411 y siguientes.
- 6.- **UNCTAD (1992).** *Port Marketing and the Challenge of the Third Generation*. Ginebra: UNCTAD. 55 págs.
- 7.- **UNCTAD. (1999).** “*Technical note: Fourth-generation port*”. PORTS NEWSLETTER. N.º 19. Págs. 9-12.
- 8 Citado en: **Garín Alemany, Miguel (2018)** *Aspectos Clave de la Evolución Portuaria*. XIII Congreso Marítimo Portuario. Guatemala. <http://portalcip.org/wp-content/uploads/2018/11/5.-Aspectos-Claves-de-la-Evoluci%C3%B3n-Portuaria-Miguel-Gar%C3%ADn-ilovepdf-compressed-2.pdf>
9. **Tapscott, Don y Anthony D Williams (2010).** *Wikinomics. La nueva economía de las multitudes*. Madrid: Ed. Paidós, pág. 41 y siguientes. Los principios y características de la wikinomía han sido desarrollados por estos autores en (2011) *Macrowikinomics. Nuevas fórmulas para impulsar la economía mundial*. Barcelona: Ed. Paidós, 592 págs.
10. El sentido utilizado en este ensayo de la expresión “economía global” es el formulado en: **Borja, Jordi y Manuel Castells (1997).** *Local y global. La gestión de las ciudades en la era de la información*. Madrid: Ed. Taurus. Pág. 23 y siguientes.
11. En la construcción de este mercado global subyace también la internacionalización de los sistemas de producción; es decir, la fragmentación de las

- tareas productivas (diseño de producto, fabricación y montaje de sus componentes, comercialización etc.), y su ubicación en el espacio de acuerdo con las condiciones de costes y productividad respectivas, dando lugar a una producción globalizada en torno a las llamadas cadenas de valor mundiales.
12. **BBC News Mundo.** (2020, 1 de enero). "Por qué desde el 1 de enero el transporte marítimo cambiará para siempre (y cómo te afectará directamente)". www.bbc.com/mundo/noticias-50929156
 13. Una sugestiva exposición sobre los efectos de la globalización en los puertos puede consultarse en: **Haralambides, Hercules** (2017). "Globalization, public sector reform, and the role of ports in international supply chains". *Marit. Econ. Logist.* Nº 19, pp. 1–51 <https://doi.org/10.1057/s41278-017-0068-6>
 14. A partir de mediados del pasado siglo, la convergencia de profundas transformaciones en los campos de la microelectrónica, la computación y las telecomunicaciones, provocó una disrupción tecnológica que ha venido alterado de raíz las formas de captación, generación, almacenamiento, procesamiento y transmisión de información, facilitando mejoras extremas en la capacidad, velocidad y coste de estos procesos. Estas tecnologías, denominadas de la información y comunicación, polivalentes y con capacidad de penetración en todo ámbito de actividad humana, son las que se encuentran en la base de la denominada "revolución digital". En **Castells, Manuel** (1996). *La era de la información. Vol. I: La sociedad red*. Madrid: Ed. Alianza. Pág.61
 15. Observación efectuada en 1965 por Gordon Moore, cofundador de Intel, en un artículo publicado en la revista *Electronics* titulado *Cramming more components onto integrated circuits*. En dicho texto vaticina que el número de transistores de un chip se duplicará aproximadamente cada dos años. En otras palabras, que la potencia y la velocidad de los ordenadores se dobla cada 24 meses, disminuyendo su coste relativo en la misma proporción.
 16. Para un análisis de las transformaciones digitales experimentadas por los puertos puede consultarse: **Heilig, Leonard et al.** (2017) "An Analysis of Digital Transformation in the History and Future of Modern Ports". Conference: Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Science. Enero. Págs. 1341- 1350.
 17. El término surge a finales de los años 80 del pasado siglo, cuando Naciones Unidas publica el informe "Nuestro futuro común", elaborado por una comisión encabezada por la Doctora Gro Harlem Brundtland, ex primera ministra de Noruega, con el propósito de alertar sobre el deterioro ambiental del planeta y la necesidad de replantear las políticas de desarrollo. Así, la expresión "sostenibilidad" se refiere a la satisfacción de las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas; y el término "desarrollo sostenible" se entiende como un modo de progreso que armoniza crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social, responsabilizándose, al mismo tiempo, de crear las condiciones de un buen vivir del porvenir, evitando sortear los sacrificios y problemas del presente desplazándolos hacia el futuro, que se ha constituido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo.
 18. **Mas-Colell, Andreu** (1995). Elogio al crecimiento económico. Ed. Alianza. *En Mundo que viene*. Madrid. Pág. 193.
 19. Información detallada sobre la Agenda y los Objetivos en la **ONU**. Organización de Naciones Unidas, www.un.org/sustainabledevelopment/es.
 20. Entre los organismos y entidades que han venido y vienen prestando atención a la sostenibilidad y el desarrollo sostenible de los puertos, cabría citar a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), que a mediados de la década de los 90 UNCTAD publicó la monografía "Estrategias de desarrollo sostenible para puertos y ciudades" (1996); y que ha elaborado documentos como "La logística comercial y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible" (2017) y "El transporte de mercancías sostenible en apoyo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible" (2018), en los que se pone de relieve la forma en que la sostenibilidad del transporte marítimo puede contribuir a la aplicación efectiva de la Agenda 2030.
- Desde una perspectiva ambiental también hay que señalar la labor de la Organización Marítima Mundial (OMI), institución que viene desempeñando un papel esencial para mitigar el impacto ambiental de buques y puertos, en concreto la prevención de la contaminación, a través del "Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques" (MARPOL), que entró en vigor en 1983 con el objetivo de preservar el ambiente marino mediante la completa eliminación de la polución por hidrocarburos y otras sustancias dañinas, así como la minimización de las posibles descargas accidentales.

Por su parte, la International Association of Ports and Harbors (IAPH), decidió poner en marcha en 2017 el World Port Sustainability Program (<https://sustainableworldports.org>), iniciativa guiada por los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

Asimismo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) creó en 2010 el "OECD Port-Cities Programme" con el propósito de evaluar el impacto de los puertos en sus ciudades y proporcionar recomendaciones de políticas para incrementar los efectos positivos de los puertos en sus urbes. La publicación "The Competitiveness of Global Port-Cities" proporciona una interesante síntesis de los principales hallazgos efectuados por dicho programa, así como recomendaciones tanto para las políticas a los gobiernos nacionales, regionales y locales, como para las autoridades portuarias.

Otras entidades que ha venido elaborado pensamiento estratégico y recomendaciones en el ámbito de la sostenibilidad de los puertos son RETE y la International Association of Cities and Ports (AIVP). Esta última publicó en 1993 la "Carta de Montreal de Ciudades y Puertos por el Medio Ambiente", documento que tuvo un posterior desarrollo conceptual y operativo en la "Carta para el desarrollo sostenible de las ciudades portuarias" promulgada en 2006. Más recientemente ha establecido la "Agenda AIVP 2030", iniciativa que adapta los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible al contexto específico de las relaciones puerto-ciudad.

En el ámbito europeo, cabe mencionar la labor de la European Sea Ports Organisation (ESPO), que promueve mejoras en el sector portuario en línea con los 17 SDG en diferentes campos a través del desarrollo de redes como "EcoPorts", la edición de códigos de buenas prácticas, tales como: "Código de Práctica Ambiental de ESPO" (2004); "Código de práctica de la ESPO sobre las directivas de aves y hábitats" (2006); "Código de prácticas ESPO sobre integración social de puertos" (2010); "Guía Verde ESPO"; "Hacia la excelencia en la gestión ambiental portuaria y la sostenibilidad (2012)"; el "Código de buenas prácticas para cruceros y puertos de ferry" (2016); y el "Premio ESPO", iniciativa activada en 2009 con el propósito de distinguir anualmente los esfuerzos realizados por los puertos europeos para mejorar sus relaciones con las ciudades a través de proyectos innovadores.

21. El término "reset", se emplea en este ensayo en el mismo sentido que lo utiliza **Florida, Richard** (2011).

El Gran Resert. Nuevas formas de vivir y trabajar para impulsar la prosperidad. Madrid: Ed Paidós. Pág. 20.

22. **VV.AA.** (2016). *La disrupción que se acerca. Trazando el curso para el crecimiento y el desempeño nuevos en la frontera y más allá.* Deloitte University Press. **Torre, Ignacio de la** (2018). "La disrupción tecnológica ya está aquí. Cómo afecta a las personas, los gobiernos y las empresas". Cuadernos de Estrategia. N.º 199: págs. 25-68
23. Para una definición y caracterización de la "producción de Km. Cero": **Martinez, Steve, et al.** (2010). *Local Food Systems: Concepts, Impacts, and Issues*, ERR 97, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. 80 págs.
24. El movimiento "Slow Food" promueve el placer de comer despacio y el consumo de productos alimenticios en los que se tiene en cuenta el desarrollo sostenible, el comercio justo y el compromiso ético con los productores y artesanos del entorno local. <https://www.slowfood.com/es/>
25. Una visión sobre el futuro de la alimentación impulsada por el desarrollo tecnológico puede consultarse en **Diamandis Peter H. y Kotler, Steven** (2021). *El Futuro va más rápido de lo que crees. Cómo la convergencia tecnológica está transformando las empresas, la economía y nuestras vidas.* Barcelona: Ed Planeta. Pág. 312 -326.
26. Para una aproximación a la reindustrialización asociada al movimiento "maker" y sus efectos sobre la producción de manufacturas: **Anderson, Chris** (2012). *Makers. La nueva revolución industrial.* Barcelona: Ed. Urano. 349 págs.
27. Algunas referencias de interés sobre la dinámica reciente de las energías renovables: **Deloitte Insights** (2018). *Tendencias globales de las energías renovables. Las energías solar y eólica se convierten en las tecnologías de generación con mayor atractivo de inversión.* Ed. Deloitte., 34 págs. **Diamandis Peter H. y Kotler, Steven** (2021). Op. cit. Págs. 336-346. Sobre las estrategias de producción local de energía limpia puede resultar de la consulta del sitio web de Energy Cities. Asociación Europea de Ciudades en Transición Energética, conformada por una red de 1.000 gobiernos locales de 30 países: <https://energy-cities.eu>
28. Entre la extensa bibliografía dedicada a las "Smart Cities", se reseñan los siguientes manuales de reciente publicación: **Halegoua, Germaine R.** (2020). *Smart Cities.* - Ed MIT Press Cambridge (MSS): 248 págs. **Cardullo, P.; Felicianantonio C. y Kitchin R.** (Eds.). (2019) *The Right to the Smart City.* Bingley:

- Ed. Emerald Publishing Limited. 232 págs. **Mora, L. y Deakin M.** (2019). *Untangling Smart Cities: From Utopian Dreams to Innovation Systems for a Technology-Enabled Urban Sustainability*. Amsterdam: Ed. Elsevier. 414 págs. También en el monográfico de la revista Investigación y Ciencia (versión española de Scientific American) titulado *Ciudades: Claves para comprender la complejidad urbana*, (2011 noviembre) se ofrece un interesante análisis de tono divulgativo sobre las ciudades inteligentes.
29. Si bien es cierto que no existe un rango universal con fechas exactas, se suele identificar a la "Generación X" con las personas nacidas entre comienzos de los años 1960 y principios de los años 80; a la "Generación Y" con los nacidos entre comienzos de los años 80 y mediados de los años 90; y a la "Generación Z" los nacidos entre mediados de los años 90 la primera década del presente siglo. Sobre las características de las generaciones: **Gratton, Linda** (2012). *Prepárate: El futuro del trabajo ya está aquí*. Barcelona: Ed. Galaxia Gutenberg. 384 págs. **Reis, D.** (2017). *How generational shifts will impact business and innovation*. www.linkedin.com/pulse/how-generational-shifts-impact-business-innovation-detlef-reis
30. El estudio "*RSE Millennium Cone Communications 2015*" ofrece una interesante mirada a las actitudes, percepciones y comportamientos de la generación *Millennial* respecto a cuestiones sociales y ambientales. Consultable en: www.conecomm.com/research-blog/2015-cone-communications-millennial-csr-study
31. Tal y como afirma Steward Brand, uno de los primitivos visionarios de Silicon Valley, en su obra *The Whole Earth Catalog*, "Muchas personas intentan cambiar la naturaleza de la gente, pero realmente es una pérdida de tiempo. No puedes cambiar la naturaleza de la gente; lo que puedes hacer es cambiar los instrumentos que utilizan, cambiar las técnicas. Entonces, cambiarás la civilización." Una interesante reflexión sobre este pensamiento estratégico articulado a la revolución digital en: **Baricco, Alessandro** (2019). *The Game*. Barcelona: Editorial Anagrama. Pág. 108-112.
32. Ley de Rendimientos Acelerados de Ray Kurzweil, señala que "la tasa de progreso en cualquier entorno de aprendizaje evolutivo (un sistema que aprende mediante prueba y error a lo largo del tiempo) aumenta exponencialmente. Cuanto más avanzado se vuelve un sistema que mejora a través del aprendizaje iterativo, más rápido puede progresar". En: su.org/concepts/
- 33.- Existe una abundante literatura de referencia sobre las tecnologías exponenciales, gran parte de ella vinculada al equipo fundador de la Singularity University, <https://su.org/>. Peter H. Diamandis, Ray Kurzweil, Salim Ismail, entre otros. Algunas de las señaladas son: **Kurzweil, Ray** (2012). *La singularidad está cerca. Cuando los humanos trascendamos la biología*. Berlin: Ed. Lola Books. 705 págs. **Diamandis, Peter H. y Kotler, Steven** (2013). *Abundancia. El futuro es mejor de lo que piensas*. Barcelona: Antoni Bosch Editor. 488 págs. **Diamandis Peter H. y Kotler, Steven** (2021). Op. cit. Otro término estrechamente vinculado al de tecnologías exponenciales, es el de "organización exponencial", expresión acuñada en: **Ismail, Salim., Malone M. S. y Van Geest Y.** (2016) *Organizaciones Exponenciales*. Madrid: Bubok Publishing S.L. 410 págs.; y desarrollada en: **Palao, Francisco.; Lapiere, M. & Ismail, S** (2019). *Transformación exponencial*. Madrid: Ed. Bubok. 387 págs.
34. **Kelly, Kevin** (2017). *Lo inevitable. Entender las 12 fuerzas tecnológicas que configurarán nuestro futuro*. Zaragoza: Ed. Teell. Pág. 77 y siguientes.
35. **Anderson, Chris** (2012). Op cit.
36. **Castells, Manuel** (2006). "Informalismo, redes, y sociedad red. Una propuesta teórica". Manuel Castells (Ed.). *La sociedad red. Una visión global*. Madrid, Ed. Alianza. Pág. 27-75.
37. Expresión que hace referencia a la "Cuarta Revolución Industrial", también conocida como "industria 4.0", término acuñado por Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial, en su obra (2016) *La Cuarta Revolución Industrial*. Barcelona: Ed. Debate. 224 págs. La Unión Europea, a través del proyecto "Docks The Future", iniciativa impulsada en 2018, pretende definir la visión de los puertos del futuro en el horizonte 2030. Más información en: <https://www.docksthefuture.eu/>. Para una aproximación conceptual y operativa al término *Smart Port*: **Anahita Molavi, Gino J. Lim y Bruce Race** (2019). "A framework for building a smart port and smart port index". International Journal of Sustainable Transportation. May 2019. 15 págs. Por otro lado, entidades como el Banco Interamericano de Desarrollo, o el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, han lanzado recientemente publicaciones específicas, a modo de manuales y guías, sobre puertos inteligentes. **Banco Interamericano de Desarrollo.** (2020) *Manual de Puertos Inteligentes. Estrategia y hoja de ruta*. Ed. BID. 59 págs.; **Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile** (2021). *Guía de Puertos Inteligentes*. Chile. 40 págs.

- En lo que respecta a los puertos españoles, el documento 'Propuesta de contenidos básicos del Marco Estratégico del sistema portuario de interés general', al que Autoridades Portuarias y Puertos del Estado dieron luz verde en una reunión mantenida julio de 2020 en Santander, define a través de 16 líneas estratégicas y 56 objetivos generales de gestión, la hoja de ruta a seguir para los próximos diez años.
38. Según Peter Thiel, cofundador de Paypal, "... el progreso puede adoptar dos formas. El progreso horizontal o extensivo significa copiar cosas que funcionan: ir de "uno" a "n". El progreso horizontal es fácil de imaginar porque ya conocemos su aspecto. Progreso vertical o intensivo significa hacer nuevas cosas: ir de cero a uno. El progreso vertical es más difícil de imaginar porque implica hacer algo que nadie ha hecho antes". En: **Thiel, Peter** (2015) *De cero a uno*. Barcelona: Ed. Planeta. Pág. 10.
 39. **Kelly, Kevin** (2017). Op. Cit. Pág. 11
 40. Una introducción conceptual a los "Technology Readiness Levels" puede en: <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/393/NOTAS.pdf>
 41. **Martín Gallego, Francisco Luis** (2021). "Prólogo". Coto Millán, Pablo. et al. *Contribución al PIB y Empleo Santander en Cantabria. 2015-2019*. Santander: Ed. Autoridad Portuaria de Santander. Págs. 5-7.
 42. **Comisión Europea** (2010). *Europa 2020 Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. Comunicado de la Comisión Europea. Bruselas. 37 págs.
 43. **Castells, Manuel** (2009). *Comunicación y Poder*. Madrid: Ed Alianza. Pág.61; **Brynjolfsson Erik y McAfee, Andrew** (2013). *La carrera contra la máquina. Cómo la revolución digital está acelerando la innovación, aumentando la productividad y transformando irreversiblemente el empleo y la economía*. Barcelona: Ed. Antoni Bosh. Pág. 42.
 44. Eichengreen, B., Donghyun, P., & Shin, K., en un estudio sobre 74 países en el periodo de 1950 a 1990, titulado "When Fast Growing Economies Slow Down: International Evidence and Implications for China", publicado por el National Bureau of Economic Research (Cambridge, 2011) concluyeron que, en promedio, el 85% de los periodos de bajo crecimiento económico se explican por la desaceleración del crecimiento de la productividad.
 45. **Sala i Martín, Xavier** (2016). *Economía en Colores*. Barcelona: Ed Conecta. Pág. 31.
 46. **Castells, Manuel** (2006). *Observatorio Global. Crónicas de principios de siglo*. Barcelona: La Vanguardia Ediciones. Pág.171
 47. **Innerarity, Daniel** (2011) *La democracia del conocimiento. Por una sociedad inteligente*. Barcelona: Ed. Paidós. Pág. 17.
 48. **Borja, Jordi y Manuel Castells** (1997). Op. cit. Pág. 25.
 49. **Hidalgo, César** (2015). *El triunfo de la información*. Barcelona: Ed. Debate. 250 págs.
 50. Esta definición constituye una síntesis de las establecidas por **Jorge Wagensberg**, en sus publicaciones: (1998) *Ideas para la imaginación impura. 53 reflexiones en su propia sustancia*. Barcelona: Ed. Tusquets. Pág. 68; (2014) *El pensador intruso. El espíritu interdisciplinario en el mapa del conocimiento*. Barcelona: Ed. Tusquets. Pág. 22; (1985) *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona: Ed. Tusquets. Pág. 18.
 51. Para un análisis del impacto positivo del aprendizaje y el conocimiento en la calidad de vida humana: **Stiglitz, Joseph E. y Greenwald, Bruce** (2014). *La creación de una sociedad del aprendizaje. Una nueva aproximación al crecimiento, el desarrollo y el progreso social*. Madrid: Ed. La Esfera de los Libros. Stiglitz, premio Nobel de economía y profesor en la Universidad de Columbia, demuestra que aprender a aprender constituye el elemento no solo clave, sino, incondicional para el desarrollo de los países y regiones.
 52. "El conocimiento que no cambia el comportamiento es inútil. Pero el conocimiento que cambia el comportamiento pierde rápidamente relevancia. Cuantos más datos tenemos y cuanto mejor entendemos la historia, más rápidamente la historia altera su rumbo y más rápidamente nuestro conocimiento queda desfasado". En: **Harari, Yuval Noah** (2016). *Homo Deus. Breve historia del mañana*. Barcelona: Ed. Debate. Pág. 72.
 53. **Marcet, Xavier** (2017 junio). *Desaprender*. En <http://www.xaviermarcet.com/2017/06/desaprender.html>. 26 junio 2017
 54. **Marina, Jose Antonio** (2015, septiembre) "Aprender es el recurso de la inteligencia para sobrevivir y progresar en un entorno cambiante. Y claro está, es necesario en una sociedad que quiera salir adelante". El Confidencial. <https://www.joseantoniomarina.net/articulos-en-prensa/aprender-es-el-recurso-de-la-inteligencia-para-sobrevivir-y-progresar-en-un-entorno-cambiante-y-claro-esta-es-necesario-en-una-sociedad-que-quiera-salir-adelante/>
 55. Flores, Antonio (2010). *La actitud innovadora*. La Coruña: Ed. Netbiblo. Pág. 16.

56. **Schultz, Mark F.** (2017). "La innovación: el gran regalo de la historia". OMP Revista. N.º 3. https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2017/03/article_0003.html
57. **Harari, Yuval Noah** (2018) *21 lecciones para el siglo XXI*. Barcelona: Ed. Debate. Pág. 24.
- 58.- **Clayton M. Christensen, Hal B. Gregersen y Jeff H. Dyer** (2012). *El ADN del innovador*. Barcelona: Ed. Deusto. Pág. 9.
59. **McCloskey, Deirdre N.** (2020). *Por qué el liberalismo funciona. Cómo los verdaderos valores liberales crean un mundo más libre, igualitario y próspero para todos*. Barcelona: Ed. Deusto-Planeta. 491 págs.
60. Para profundizar sobre el paradigma schumpeteriano de la "destrucción creativa", como fuerza conductora del crecimiento: **Aghion Ph., Antonin, C. & Bunel, S.** (2021). *El poder de la destrucción creativa ¿Qué impulsa el crecimiento económico?* Barcelona: Ed. Deusto. 496 págs.
61. Una aproximación al análisis conceptual de término la innovación puede examinarse en las publicaciones: **Echeverría, Javier** (2017). *El arte de innovar. Naturalezas, lenguajes, sociedades*. Madrid: Ed. Plaza y Valdés. Pág. 63 y siguientes; **Innerarity, Daniel y Gurrutxaga, Ander** (2009) *¿Cómo es una sociedad innovadora?* Vizcaya: Ed. Innobasque. Agencia Vasca de la Innovación. 94 págs.
62. **Ridley, Matt** (2021). *Claves de la innovación*. – Barcelona: Antony Bosch Editor. Pág. 14.
63. **Pérez-Breva, Luis.** (2018). *Innovar. Un manifesto de acción*. Barcelona: Ed. Deusto-Planeta. Pág. 56.
64. Este enfoque se expone y desarrolla en: **Osterwalder, Alexander et al.** (2020). Op. Cit.
65. El concepto de "movilidad" está relacionado con la práctica social del desplazamiento en el sentido más amplio del término, con la capacidad de trasladarse de un lugar a otro, expresa e incluye aspectos subjetivos y objetivos, materiales e inmateriales, materializables y materializados del traslado, abarcando las causalidades y consecuencias de éste, y remitiendo tanto a los desplazamientos realizados como los concebidos y realizables. Para profundizar en este concepto y su relación con transporte y logística: **Gutiérrez, Andrea** (2012) "¿Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte". *Bitácora 21* (2). Págs. 61-74; **Miralles y Guasch Carme y Cebollada Frontera, Ángel** (2009). "Movilidad cotidiana y sostenibilidad, una interpretación desde la Geografía Humana". *Boletín de la A.G.E.* N.º 50. Págs. 193-216.
66. **Enzensberger, Hans Magnus** (2009). *En el laberinto de la inteligencia. Guía para idiotas*. Barcelona: Ed. Anagrama. Pág. 69.
67. Las sugerentes reflexiones de **Jorge Wagensberg** sobre la inteligencia se encuentran dispersas en artículos de prensa y publicaciones de aforismos. A este respecto, pueden consultarse: (2001, 21 febrero) "La inteligencia". *El País*; (2002) *Si la Naturaleza es la respuesta, ¿Cuál era la pregunta? y otros quinientos aforismos sobre la incertidumbre*. Barcelona: Ed Tusquets. Págs. 40-41; (2012). *Más árboles que ramas. 1116 aforismos para navegar por la realidad*. Barcelona: Ed Tusquets. Págs. 201-203; (2018) *Sólo se puede tener fe en la duda. Pensamiento concentrado para una realidad dispersa*. Barcelona: Ed Tusquets. Págs. 49-52.
68. **Gardner, Howard** (2019). *Inteligencias múltiples. La teoría en la práctica*. Barcelona: Ed. Paidós AIDÓS. 432 págs.
69. Un texto divulgativo sobre la evolución de la inteligencia humana desde los orígenes hasta nuestros días en: **Marina, José Antonio** (2019). *Historia visual de la inteligencia. De los orígenes de la humanidad a la inteligencia artificial*. Barcelona: Ed. Conecta. 267 págs.
70. Citado en: **Menéndez Velázquez, Amador** (2017). *Historia del Futuro. Tecnologías que cambian nuestras vidas*. Oviedo: Ediciones Nobel. Pág. 207.
71. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa>
72. **Harari, Yuval Noah** (2018) Op. Cit. Pág. 41
73. Citado en: **Pedreño, Andrés.** (2020, 29 octubre). "El nuevo objeto de deseo: ser "IA nation" en vez de "start-up nation". *La Vanguardia Dossier*. <https://www.lavanguardia.com/vanguardia-dossier/20201029/4911336109/estrategias-potencias-nuevos-jugadores-inteligencia-artificial-ia-nation-start-up-nation.html>
74. **Vanguardia Dossier** (2020, octubre/diciembre) "El nuevo grand prix de la geopolítica". *Vanguardia Dossier*. ¿Quién mandará en la Inteligencia Artificial? N.º 77. Págs. 14-15
75. **López de Mantarás, Ramón** (2017, enero/marzo) "La carrera de la Inteligencia artificial". *Vanguardia Dossier*. El Imperio de Silicon Valley y su nuevo orden mundial. N.º 63. Pág. 48-51.
76. **Kelly, Kevin** (2017). Op. Cit. Pág. 31
77. Citado en: **Cuevas, Patricia.** (2018, 5 mayo) "La gestión del talento en las organizaciones o cómo invertir bien la inteligencia". *Iuni. Strategic makers*. <https://www.iuni.es/la-gestion-del-talento-las-organizaciones-invertir-bien-la-inteligencia/>.

- Para profundizar en el pensamiento de este filósofo sobre el talento y su desarrollo: **Marina, José Antonio** (2010). *La Educación del Talento*. Barcelona: Ed. Ariel. 188 págs.
78. **María Popova**, autora del blog “Brain Pickings”, un prontuario 2.0 de ideas y apuntes culturales que cuenta con mención especial de la Biblioteca del Congreso, reúne en “What Is Creativity? Cultural Icons on What Ideation Is and How It Works” (2013, septiembre 09) las reflexiones sobre el concepto de creatividad de autores tales como: Bradbury, Eames, Angelou, Gladwell, Einstein, Byrne, Duchamp, Close, Sendak, etc.
79. **Robinson, Kent**. (2018, noviembre). “Tenemos una poderosa imaginación”. Programa “Aprendemos juntos”. BBVA. <https://www.youtube.com/watch?v=vchZm7R0drc>
80. **Nielsen, Dorte y Thurber, Sarah** (2018). *Conexiones creativas. La herramienta secreta de las mentes innovadoras*. Barcelona: Ed Gustavo Gili. Pág. 17
81. **Wagensberg, Jorge** (2017). *Teoría de la creatividad. Eclósión, gloria y miseria de las ideas*. Barcelona: Editorial Tusquets. Pág. 11
82. **Robinson, Kent**. (2018, noviembre). Op. cit.
83. Citado por **Diez Sánchez, David; Bustamante Pastor, Juan; y Pantaleón Rebollo, Ismael** (2014). *Metacreatividad. Cuerpo Teórico*. Pág. 30. http://metacreatividad.org/wpcontent/uploads/2014/10/METACREATIVIDAD_cuerpo_teorico.pdf
84. El término “técnica” se suele utilizar para referirse a saberes y habilidades operacionales útiles, efectivas, generadas a través de experiencias y praxis artesanales precientíficas. Para una aproximación conceptual y desde distintos enfoques a la idea de tecnología: **Quintanilla, Miguel Angel** (2005). *Tecnología. Un enfoque filosófico y otros ensayos de la filosofía de la tecnología*. México DF: Ed. Fondo de Cultura Económica. 295 págs.; **Martín Jiménez, Luis Carlos** (2018). *Filosofía de la técnica y de la tecnología*. Oviedo: Ed Pentalfa. 353 págs.; **Sarsanedas, Ana** (2015). *Filosofía de la tecnología*. Barcelona: Ed. UOC. 94 págs.
85. **Friedman, Thomas L.** (2018). *Gracias por llegar tarde*. Barcelona: Ed. Deusto. Págs. 82-83
86. Citado en **Friedman, Thomas L.** (2018). Op. Cit. Pág. 84

LOS PUERTOS EN ECOSISTEMAS DIGITALES 4.0, INTEGRACIÓN EN CADENAS DE SUMINISTRO Y NUEVOS PRODUCTOS DIGITALES

Guillermo Massot Cristino
Ingeniero Naval, MBA.
Socio Director - Althium.

1. INTRODUCCION

2. SMART PORTS

- 2.1. Excelencia operativa
- 2.2. Integración en cadenas de suministro
- 2.3. Nuevos productos y servicios digitales en el sector marítimo-portuario

3. ECOSISTEMAS DIGITALES EN PUERTOS Y CADENAS DE SUMINISTRO

- 3.1. Los mercados logístico y marítimo-portuarios:
Cifra de negocio y transformación digital
- 3.2. Tecnología de gestión de cadena de suministro
 - 3.2.1. Tendencias y segmentos de mercado
- 3.3. *Partnering* digital en los sectores logístico y marítimo-portuario
 - 3.3.1. DHL – Infor Nexus: *Procure-to-Pay*
 - 3.3.2. PSA – Roambee: Visibilidad y trazabilidad logísticas

4. TECNOLOGIA DE CADENA DE SUMINISTRO: TENDENCIAS EN EL SECTOR PORTUARIO

- 4.1. Visibilidad logística y sincronización multimodal
- 4.2. Negocios logísticos de base tecnológica en recinto portuario (*Port-Centric Logistics*)

5. CONCLUSIONES

6. AGRADECIMIENTOS

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

8. NOTAS



GUILLERMO MASSOT CRISTINO

*Ingeniero Naval, MBA.
Socio Director - Althium.*

Guillermo Massot es Ingeniero Naval y MBA. Cuenta con amplia experiencia profesional en los sectores portuario y de cadena de suministro. Su trayectoria incluye puestos de gestión en DP World (Gerente Regional de M&A y Planificación de Negocios para Europa y Rusia), Terminal Investment Limited (Gerente de Eficiencia Portuaria) así como la Jefatura de Departamento de Partneriados Digitales y M&A en Maersk Logística y Servicios.

En Maersk, Guillermo fue responsable de la definición y ejecución de la estrategia de producto digital en cadenas de suministro, articulada en torno a soluciones cloud y multi-enterprise: visibilidad logística, plataformas digitales de colaboración en gestión de pedidos, gestión de inventario, pronóstico de demanda en entornos S&OP, sistemas de gestión de transporte y transitario digital y compliance.

Actualmente Guillermo es Socio Director en Althium, firma de servicios profesionales especializada en Transporte y Cadena de Suministro, donde dirige proyectos de M&A consultoria de operaciones Supply Chain Tech.

RESUMEN

El presente trabajo reflexiona en torno a los Puertos 4.0, también denominados Smart Ports, y la emergencia y materialización de dicho concepto en un contexto industrial generalizado de disrupción tecnológica.

Se analizan los ecosistemas de empresas tecnológicas en los entornos portuario y de gestión de cadena de suministro, se efectúa una comparativa de valoraciones de mercado de tecnológicas frente a 2PL/3PL y su evolución reciente, y se elabora sobre el partnering digital como alternativa de generación de valor en ambas industrias.

A lo largo del documento se presentan diversos ejemplos prácticos de nuevos modelos de negocio y productos digitales en puertos, con énfasis en la optimización de gestión de transporte terrestre intermodal y las ventajas derivadas de la trazabilidad y predictibilidad del tiempo de llegada de contenedores basada en modelos predictivos e inteligencia artificial.

PALABRAS CLAVE

Puertos, visibilidad, cadena de suministro, logística, multimodal, predictibilidad, tecnología, 3PL.

1. INTRODUCCION

Durante gran parte de 2020 y la primera mitad de 2021 el mundo ha sido testigo de transformaciones económicas y sociales de gran calado.

A nivel de cadena de suministro se han observado fluctuaciones extremas en los patrones de consumo y demanda de bienes, así como se ha podido constatar la insuficiencia de la oferta de transporte disponible para cubrir dicha demanda, resultando ello en niveles de congestión extremos y cotización de fletes marítimos y servicios logísticos nunca vistos hasta la fecha, particularmente en puertos gateway en Norte América y Europa Occidental.

Incidentes como el bloqueo del Canal de Suez el pasado mes de marzo de 2021, o más recientemente la ralentización en Yantian, ponen de manifiesto la fragilidad de los modelos clásicos (“analógicos”) de aprovisionamiento y distribución de mercancías, así como la necesidad de reforzar la integridad y fiabilidad de las cadenas de suministro globales mediante tecnologías y herramientas predictivas que mejoren su flexibilidad y resiliencia, permitiendo así afrontar futuras situaciones excepcionales con mejores perspectivas.

2. SMART PORTS

En línea con otras industrias y sectores económicos, en esta segunda década del siglo XXI los puertos se

han sumado a la corriente global de transformación digital, si bien la industria portuaria es por el momento dual en cuanto a la intensidad de dicha transformación.

Mientras algunos puertos, -generalmente los de mayor tamaño y dimensión empresarial-, están capitalizando plenamente las oportunidades brindadas por la digitalización de operaciones, otros continúan con modelos de explotación tradicionales, en los que predominan las interacciones por medios clásicos (teléfono, e-mail, fax) así como procesos de negocio adolecientes de falta de visibilidad operativa y un limitado grado de sincronización entre los distintos agentes.

Un posible indicador de dicha dualidad es el reducido número de Estados Miembro de la Organización Marítima Internacional que cuenta con Port Community Systems (PCS) funcionales (únicamente 49 de 174 países¹) lo que señala ciertas carencias estructurales en un elemento básico y fundacional de toda transformación digital, como es la conectividad estandarizada entre todos los agentes involucrados en la cadena de valor.

Entre los PCS que cuentan con amplia capacidad de conexión entre agentes y/o soluciones digitales de valor añadido para la comunidad portuaria encontramos a Portbase (Rotterdam), Portic (Barcelona), Valenciaport PCS o Teleport (Algeciras).

No parece existir consenso acerca de la definición del concepto de Smart Port; mientras algunos autores [1], [2] reflexionan acerca de cómo dicho concepto es relativo y debe verse en el contexto de la relación del puerto con su entorno económico y social (en particular, su relación con las ciudades y su propia hoja de ruta “digital”), otros [3] sostienen que el smart port trasciende su dimensión puramente física como hub de operaciones de transferencia modal de mercancías, para jugar también el papel de hub de información y datos, posibilitando amplias eficiencias operativas, y la emergencia de nuevos modelos de negocio y productos y servicios.

En lo que respecta a este trabajo, el concepto Smart Port se sitúa en esa segunda línea, en particular en la dimensión adquirida por los puertos al integrarse en cadenas de suministro en las que todos los agentes se encuentran conectados entre ellos, soportados por tecnologías avanzadas que posibilitan mejoras en la eficiencia operativa y capacidad portuarias.

El cambio de paradigma en los puertos viene impulsado por tres factores fundamentales: Excelencia operativa, necesidades de integración y optimización de los puertos como parte integral de cadenas de suministro, y nuevos modelos de negocio soportados por productos y servicios digitales.

2.1. Excelencia operativa

A escala global y en términos generales, los puertos y las terminales portuarias son negocios que han obtenido tradicionalmente niveles de rentabilidad superiores a otras clases de activos en el sector del transporte; su carácter estratégico para las economías de los países a los que sirven los ha dotado de sólidas posiciones negociadoras y contractuales, atrayendo elevados volúmenes de inversión tanto nacional como extranjera.

Aupados por la globalización y un ciclo económico expansivo prácticamente constante desde comienzos del S. XXI, -solo interrumpidos por la crisis financiera de 2008 y la pandemia de 2020-21-, los puertos experimentaron un crecimiento notable con el foco sectorial orientado principalmente hacia la rentabilidad.

La crisis de 2008 se tradujo en una reducción significativa de volumen y rentabilidad portuarias, suponiendo un punto de inflexión en el cual el sector parece tomar consciencia de la importancia de las metodologías de excelencia de procesos (Six Sigma,

Lean, Kaizen) y de la tecnología como soportes de su futura sostenibilidad económico-financiera.

Inmerso ya en un proceso de convergencia tecnológica con otras industrias, el sector portuario confrontó fluctuaciones masivas de demanda durante 2020 a raíz de la crisis sanitaria del Covid-19, la cual puso esta vez el foco en la vulnerabilidad de las cadenas de suministro globales y en la necesidad de dotarlas de más resiliencia, implicando ello la integración digital de los puertos en las mismas.

2.2. Integración en cadenas de suministro

De acuerdo con la Teoría de las Restricciones [4], la capacidad de todo sistema equivale a la menor de los respectivos subsistemas que lo componen. Dicha teoría resulta de plena aplicación a las cadenas de suministro globales: Eventos o disrupciones en cualquiera de sus etapas tienen una influencia decisiva en las prestaciones del sistema como conjunto.

Un ejemplo claro de lo anterior puede verse en la evolución del tráfico y congestión en los puertos gateway durante la etapa pandémica, empleando como indicadores de estos, o proxies, a los puertos de Los Ángeles y Long Beach.

En dicho mercado, mientras los volúmenes de importación han venido pulverizando registros históricos durante los últimos doce meses, los subsistemas marítimo-portuario y de transporte intermodal terrestre han sufrido déficits de capacidad y caídas de nivel de servicio notables.

Por el lado marítimo, como principales métricas de esta coyuntura de demanda excepcional encontramos el volumen de tráfico de importación y el tiempo medio de estancia de los contenedores en las terminales (dwell time), cuya evolución reciente se presenta a continuación.

En cuanto a los puertos, el incremento de tiempo de estancia de los contenedores en muchas terminales se tradujo en mayores ingresos por almacenamiento. No obstante, dichos ingresos adicionales son comparativamente reducidos frente a los costes por demora y detención soportados por cargadores, transportistas terrestres y/o clientes finales, los cuales sufren retrasos en las entregas de productos, rupturas de stock o sobrecostes en el precio del transporte a causa del desequilibrio existente entre oferta y demanda y unos niveles de servicio logístico insuficientes.

Figura 1. Actividad durante el periodo pandémico en puertos de LA/LB (EE.UU.).

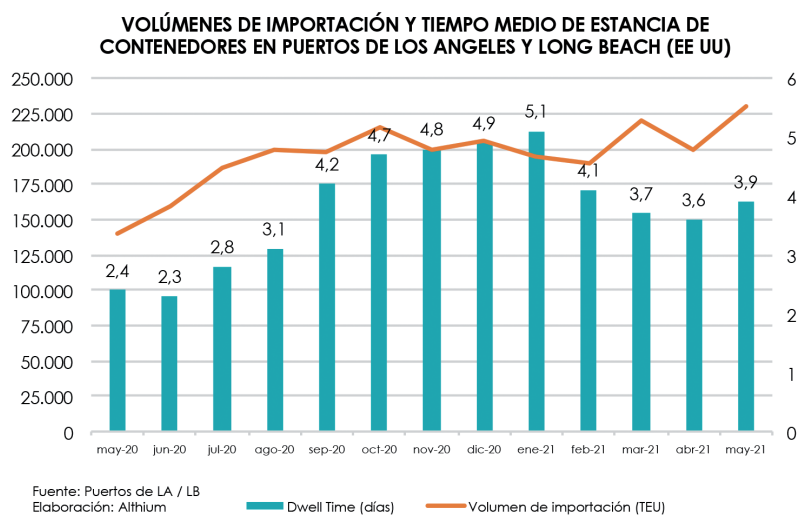


Tabla 1. Comparativa de costes medios por demora y detención vs. ingresos medios por almacenamiento en terminales.

Puerto	Coste medio por demora y detención (USD/ contenedor. día - 2020)	Ingreso medio por almacenamiento y contenedor* (USD/contenedor. año - 2020)
Los Ángeles	173,9	11,6
Rotterdam	53,9	8,5
Amberes	49,4	8,1

Fuentes: Container Xchange, Althium.

* Datos correspondientes a una terminal representativa por puerto.

En un contexto excepcional, como el actual, de carestía en el precio del transporte y elevada disrupción, parece lógico y razonable que los clientes del sector marítimo/portuario no estén plenamente satisfechos con la relación calidad/precio obtenidas y exijan un mejor nivel de servicio⁵ con objeto de poder desarrollar con garantías sus negocios y operaciones logísticas.

En opinión del autor, el incremento de ingresos por estos conceptos para empresas navieras y puertos debe analizarse con cautela y desde una doble vertiente; tanto desde la óptica de la relación entre el coste y el beneficio a obtener, como en lo que respecta al impacto sobre otros participantes de la cadena de suministro y el riesgo asociado de que pudieran adoptarse medidas regulatorias de mitigación [6] con posibles consecuencias negativas para el sector.

2.3. Nuevos productos y servicios digitales en el sector marítimo-portuario

A medida que el sector portuario incrementa su grado de penetración digital se generan cantidades crecientes de datos cuya normalización, análisis y explotación posibilita el desarrollo de nuevos productos

y servicios enfocados a la mejora continua de operaciones o la generación de fuentes adicionales de ingresos; entre algunos ejemplos podemos destacar:

- **Soluciones de visibilidad logística**, sobre las cuales se elabora ampliamente en apartados posteriores de este trabajo, destacando entre ellas a Roambee, Tradelens, Gravity o Project 44.
- **Plataformas colaborativas de gestión de transporte terrestre en puertos**, como Port Optimizer™, impulsada por el Puerto de Los Ángeles [7] consistente en una infraestructura digital colaborativa que permite la optimización de las operaciones de entrega y recepción de contenedores. Dicha solución está enfocada a fluidificar el flujo terrestre en los accesos a los puertos y las terminales, reduciendo los tiempos de espera en puerta y los dwell times.
- **Contenedores "inteligentes"**, dotados bien de sensores fijos (por ejemplo, Traxens) o desmontables (como los de Roambee), los cuales transmiten información detallada sobre la localización del equipo, la temperatura y humedad en el interior del contenedor, o la previsión del tiempo de llegada de la mercancía.

• **Transportation Management Systems (TMS) y Marketplaces de transporte intermodal**, los cuales posibilitan la planificación y ejecución de operaciones de transporte terrestre y la conexión entre oferta y demanda de esta en los puertos, respectivamente. Se posibilita así el acceso a un mayor número de oportunidades de negocio, la interlocución directa entre las partes, así como la optimización de capacidad productiva y número de rotaciones efectuadas por los transportistas.

Como ejemplos de TMS podemos mencionar a Manhattan, SAP o Transplace, mientras que entre los marketplaces destacan plataformas estadounidenses como Cargomatic o Dry Alliance.

3. ECOSISTEMAS DIGITALES EN PUERTOS Y CADENAS DE SUMINISTRO

3.1. Los mercados logístico y marítimo-portuarios: Cifra de negocio y transformación digital

Se estima que el mercado logístico, entendiendo el mismo como las actividades asociadas al transporte, almacenaje y distribución de mercancías comprendiendo todos los modos de transporte y verticales, representa una cifra de negocio global comprendida entre los 8 y 12 trillones de dólares³ [8]. Otras fuentes apuntan a una cifra de negocio cercana a los 9 trillones de dólares en el año 2020 y a una tasa de

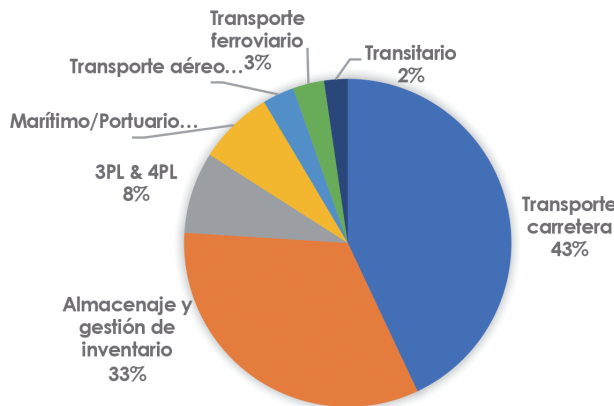
crecimiento compuesta prevista en el periodo 2021-2028 en torno al 8.5%⁴.

En términos de cuota de mercado según reparto modal y otras actividades de valor añadido, el transporte por carretera es el segmento que aglutina el mayor porcentaje de cifra de negocio, con el 47% del mercado (ca. 490 billones de dólares), seguido de las actividades de almacenaje y gestión de inventario (ca. 290 billones de dólares) y del sector marítimo-portuario, que se estima alcanzó en 2020 una cifra de negocio cercana a los 850 billones de dólares.

El impacto masivo de la pandemia de Covid-19 en las cadenas de suministro globales no ha hecho sino acentuar, aún más si cabe, las necesidades de transformación digital en una industria logística que ya había comenzado, con diferentes grados de intensidad, a implementar nuevos productos basados en tecnologías digitales, especialmente en los segmentos de gestión de cadena de suministro (3PL y 4PL).

Específicamente en lo que concierne al sector marítimo-portuario, ha sido solo en los últimos años cuando han comenzado a cristalizar proyectos y productos digitales, destacando entre ellos las reservas de carga online (Maersk SPOT⁵, o myMSC⁶), los ecosistemas logísticos colaborativos basados en tecnología blockchain (Tradelens⁷) o las iniciativas en materia de digitalización y estandarización en el intercambio de datos y documentación en transporte marítimo contenerizado (DCSA⁸).

**MERCADO LOGÍSTICO GLOBAL (EST. 2020)
CUOTA DE MERCADO POR MODO & SEGMENTO DE ACTIVIDAD**



Fuente: Armstrong & Associates
Elaboración: Althium

Figura 2. Mercado Logístico Global.

Si bien iniciativas como las anteriores suponen pasos hacia la deseada convergencia tecnológica con otras industrias, tanto el sector logístico como el marítimo-portuario cuentan con márgenes de mejora en materia de eficiencia de procesos operativos y de negocio.

En este contexto, comenzaron a aparecer en la década anterior empresas especializadas en tecnología de gestión de cadena de suministro, sector que se analiza a grandes rasgos a continuación.

3.2. TECNOLOGÍA DE GESTIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO

3.2.1. Tendencias y segmentos de mercado

El sector de tecnología de gestión de cadena de suministro abarca el desarrollo e implementación de tecnología operativa y soluciones de software destinadas, entre otras aplicaciones, a la planificación y coordinación de los ciclos de venta y de producción (S&OP) en industrias manufactureras, gestión de relaciones con proveedores, colaboración en gestión

de pedidos, visibilidad logística, gestión de inventario y de almacenaje, plataformas de carga y transitarios digitales, gestión aduanera y cumplimiento normativo en el ámbito de la logística y el comercio exterior.

En términos generales, puede segmentarse el mercado en cuatro grandes categorías de empresas: 1) grandes proveedores de software de gestión de cadena de suministro, generalmente comercializados como módulos conexos al Enterprise Resource Planning (ERP); 2) proveedores generales de software, quienes suelen abarcar un amplio abanico de soluciones en materia de planificación, ejecución y orquestación (multienterprise) de cadenas de suministro; 3) especialistas en soluciones de planificación; y 4) especialistas en soluciones de ejecución.

Diversas estimaciones [9] apuntan a que durante el año 2019 el sector de tecnología de cadena de suministro alcanzó una cifra de negocio global en torno a los 18.000 millones de dólares; en términos comparativos dicha cifra equivale a un 1-1.5% de la cifra de negocio del sector logístico a escala global, aproximadamente.

Figura 3. Ecosistema de principales empresas de software de gestión de cadena de suministro.

Fuente: AGC Partners.



Tabla 2. Fusiones y adquisiciones recientes en el sector de tecnología de cadena de suministro.

Fuente: Althium, AGC Partners, E2 Open.

Fecha	Empresa	Comprador	Segmento	Ingreso últimos ejercicio	Enterprise Value (USDm)
2021	Blue Yonder	Panasonic	Gestión de almacenaje y distribución multicanal	343	7.100
2021	BlueJay	E2 Open	Software ejecución logística y compliance	180	1.700
2020	Infor Nexus	Koch Industries	ERP y software de cadena de suministro	3.200	13.000
2020	Llamasoft	Coupa	Software simulación de cadena de suministro	100	1.500
2019	GlobalTranz	Providence Equity Partners	3PL / Transitario digital	NA	860

El mercado se encuentra altamente fragmentado, con pocas barreras de entrada y múltiples participantes quienes desarrollan productos a gran velocidad a lo largo de toda la cadena de suministro, contando para ello con elevados volúmenes de financiación por parte de inversores estratégicos e institucionales.

El desarrollo sectorial a lo largo de la última década ha sido pues notable, y en lo que respecta a crecimiento inorgánico ha experimentado un número elevado de fusiones y adquisiciones, siendo la tendencia actual hacia un mayor grado de concentración empresarial.

3.3. Partnering digital en los sectores logístico y marítimo-portuario

El modelo de negocio basado en partnering entre empresas de tecnología en cadena de suministro y empresas logísticas consiste en el establecimiento de acuerdos mediante los cuales las empresas logísticas acceden al derecho de comercialización de soluciones innovadoras de software a sus clientes tradicionales.

Como contraprestación, las tecnológicas obtienen una retribución monetaria (licencia de uso con componentes fijo y/o variable). Los acuerdos de partnering suelen articularse en torno al establecimiento de cierta estructura comercial conjunta entre ambos socios, con fuerte regulación contractual.

Los acuerdos suelen ser de duración limitada en el tiempo (entre dos y cinco años), y tienen como objetivo principal la expansión de producto y crecimiento orgánico mediante la entrada comercial en verticales difícilmente accesibles para ambos socios en un contexto no colaborativo.

Este modelo se sustenta en las amplias sinergias que supone dicha colaboración para ambas partes:

- Para las empresas logísticas, posibilita la expansión de su cartera de productos y servicios y de su nivel de excelencia operativa gracias a la digitalización de estos, pudiendo abarcar áreas de la cadena de suministro más allá de la gestión de

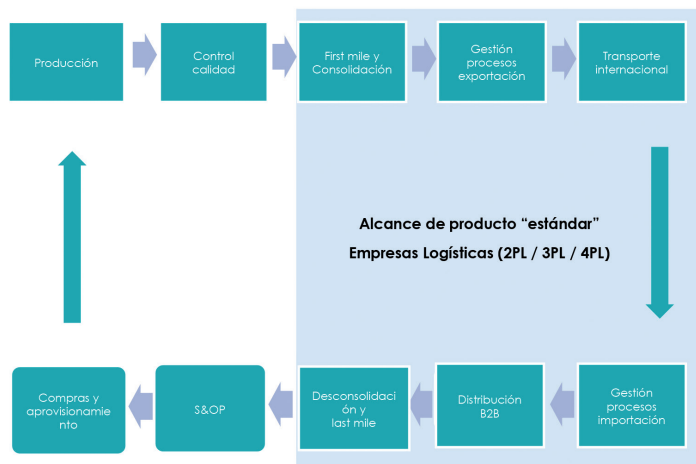


Figura 4. Alcance “estándar” de producto logístico basado en partnering digital.

Fuente: Althium.

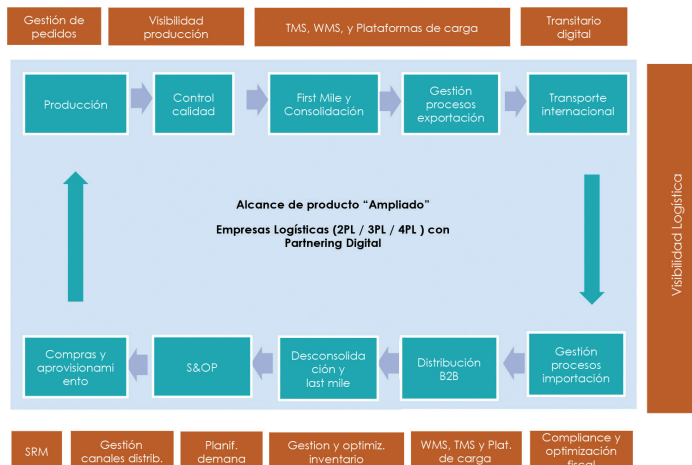


Figura 5. Alcance “ampliado” de producto logístico basado en partnering digital

Fuente: Althium.

transporte y logística en las que tradicionalmente han venido operando. El partnering supone así una alternativa más rápida y menos intensiva en capital que la expansión a través de fusiones y adquisiciones o el desarrollo de producto con recursos propios.

- Para las empresas tecnológicas facilita su expansión comercial ya que los operadores logísticos, -con carteras de clientes típicamente amplias y diversificadas-, suponen una gran oportunidad de crecimiento, en términos de canales de distribución, para sus soluciones de software.

A continuación se presentan algunos ejemplos de partnering digital en el sector logístico.

3.3.1. DHL – Infor Nexus: Procure-to-Pay

Infor Nexus es una empresa de software propietaria, entre diversos activos digitales, de una plataforma orientada a la gestión colaborativa de cadena de suministro y comercio electrónico.

Infor Nexus cuenta con una cartera de más de 25.000 clientes repartidos prácticamente por todos los verticales, destacando entre ellos Caterpillar, Citi, HSBC, Columbia Sportswear, DHL, Electrolux, Levi Strauss & Co., Kohl's, Nestle, Pfizer o Renault.

En el sector logístico, DHL mantiene un acuerdo de partnering con Infor Nexus⁹ (denominada GT Nexus

previamente a su adquisición por parte de Infor en 2015) por el cual DHL comercializa su servicio *Procure-to-Pay*¹⁰, o gestión de la secuencia completa de compra, recepción, emisión de factura y recepción de pagos en el comercio internacional de mercancías.

Los servicios *Procure-to-Pay* de DHL cuentan con el soporte tecnológico de la plataforma de visibilidad logística de Infor Nexus, la cual permite a DHL proporcionar servicios asociados de gestión de cadena de suministro, destacando entre ellos verificación y seguimiento de pedidos, la resolución de excepciones o el control y seguimiento de indicadores de calidad del servicio tanto por parte de proveedores como de transportistas.

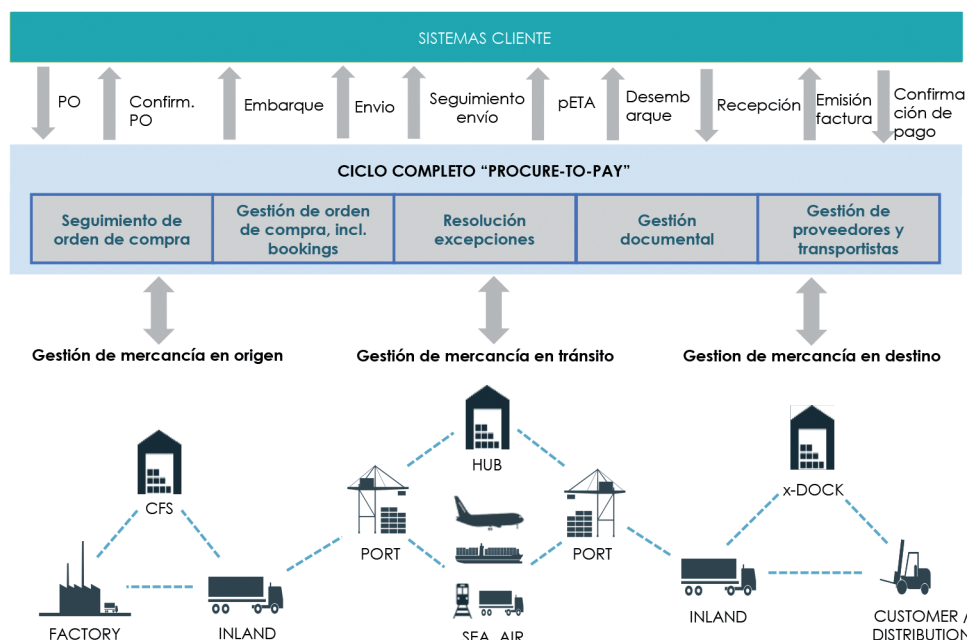
Mediante este acuerdo, Infor Nexus aprovecha las ventajas derivadas de mantener a DHL como canal de distribución en el vertical logístico, mientras mantiene su propio canal de distribución con venta directa de su plataforma y soluciones de software a clientes en otros verticales.

3.3.2. PSA – Roambee: Visibilidad y trazabilidad logísticas

Roambee es una empresa tecnológica con base en California (EE. UU.) propietaria de una solución de visibilidad logística articulada a través de sensores de reducidas dimensiones y peso (30 cm de largo, 15cm de ancho y unos 300 g de peso, aproximadamente).

Figura 6. Procure-to-Pay.

Fuentes: Althium, Infor Nexus.



Dicha solución permite la trazabilidad de envíos unitizados para todos los modos de transporte, desde cargas contenerizadas completas a fraccionadas, pasando por paquetería.

Los sensores de Roambee disponen de baterías recargables con vidas útiles comprendidas entre los 60 y los 1.000 días (dependiendo de la frecuencia de emisión de pings) y cuentan con una tarjeta SIM compatible con redes de telecomunicaciones 3G, 4G y wifi en 170 países.

Roambee transmite diferentes tipos de mensajes y datos (retraso previsto en la entrega, temperatura, humedad, alarma por manipulación del dispositivo, apertura de puerta del contenedor, impactos, exposición a la luz y otros), presentándose la información en una plataforma de visibilidad en la nube (Honeycomb) soportada por inteligencia artificial, la cual facilita la orquestación del movimiento de mercancías, la toma de decisiones y el análisis granular de datos e información logística.

Roambee constituye una solución “agnóstica” en cuanto a que los sensores pueden instalarse y desinstalarse fácilmente en cualquier contenedor o caja móvil (incluso en pallets o cajas), independientemente de a quién pertenezca el contenedor lo cual supone una diferencia importante frente a otros dispositivos similares¹¹.

Recientemente, el operador portuario PSA a través de su filial de capital riesgo PSA unboxEd ha materializado un acuerdo de partnering con Roambee para el

codesarrollo de una solución de visibilidad y trazabilidad logística para cargas contenerizadas completas (FCL) y fraccionadas (LCL).

El acuerdo persigue abarcar la totalidad de la cadena de suministro en los verticales objetivo y facilitar a PSA la prestación de servicios logísticos de valor añadido basados en información granular y en tiempo real.

La solución se presenta como idónea para la prestación de servicios de transporte, almacenaje y/o consignación de inventario, resolución de incidencias y distribución last mile en mercancías de temperatura controlada o de alto valor unitario (por ejemplo, productos farmacéuticos y perecederos), para las cuales se requieren elevados grados de accionabilidad, fiabilidad y granularidad de datos e información.

Entre otras prestaciones, esta tecnología ofrece la posibilidad de:

- Reasignar ventanas de entrega o modos de transporte a raíz de cambios en el ETA.
- Resolver entregas incorrectas y anticiparse a impactos negativos en lo que respecta a niveles de servicio o inventario insuficientes.
- Ejecutar acciones en tiempo real a raíz de incidentes de seguridad, ruptura de la cadena de frío o integridad de la carga.
- Gestión optimizada de flotas de transporte y de equipo obsoleto o infrutilizado.
- Expeditar procesos administrativos para cargas sensibles en términos de valor o plazo de entrega requerido.

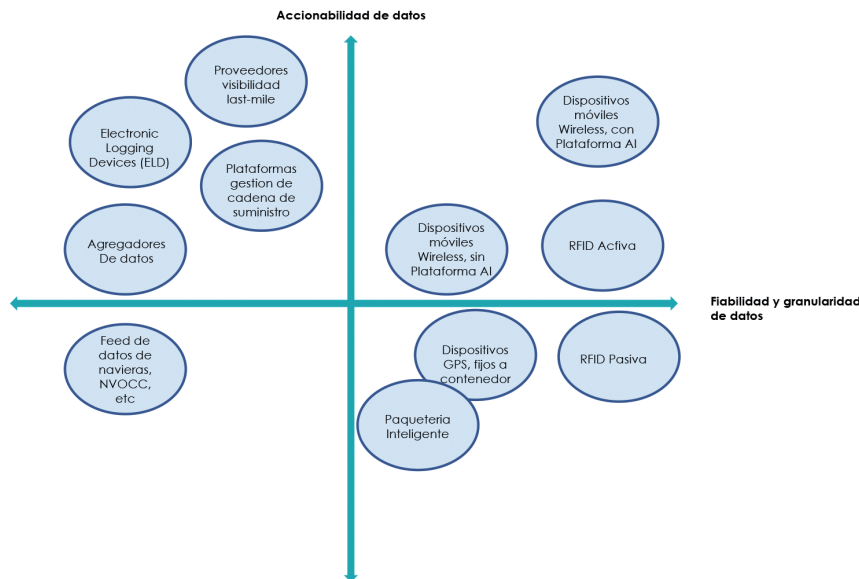


Figura 7. Cuadrante de visibilidad logística.

Fuente: Gravity, Project 44, Roambee.

Este acuerdo facilita a PSA una alternativa de visibilidad logística multimodal más rápida y menos costosa que otras basadas en integraciones con múltiples actores (EDI u otras), o el desarrollo de un producto propio, lo cual implicaría elevados niveles de complejidad y requisitos de estructura organizacional más intensivos en cuanto a recursos.

Por otra parte, la colaboración con PSA permite a Roambee acceder a un mercado como el portuario en el que existen necesidades crecientes en materia de sincronización de flujos marítimo-terrestres, y una clara tendencia hacia la diversificación de fuentes de ingresos a través de la prestación de servicios logísticos de todo tipo.

3.4. Comparativa de valoraciones de mercado logísticas vs. tecnológicas

Los ejemplos anteriores de partnering entre DHL-Infor y PSA-Roambee, respectivamente, ilustran el potencial del modelo de partnering entre industrias (logística y tecnológica) como alternativa emergente de crecimiento orgánico y de alta generación de valor para el sector logístico.

Desde una óptica de inversión merece la pena revisar cómo se valoran en el mercado ambas tipologías de empresas. A tal efecto, se consideraron como ejemplos representativos dos empresas de software cotizadas en el Nasdaq (E2 Open y Descartes), y tres del sector marítimo-portuario y logístico cotizadas en mercados tradicionales (XPO Logistics, Maersk y Hutchison Port Holdings).

Del análisis destacan las amplias diferencias de valoración entre las empresas tecnológicas y logísticas en favor de las primeras, más si cabe aún a la vista de las comparativamente reducidas cifras de negocio de las tecnológicas.

La comparativa de valoraciones, los elevados volúmenes de actividad en materia de fusiones y adquisiciones y el creciente número de acuerdos de partnering digital parecen confirmar que el mercado considera a las empresas de tecnología de cadena de suministro como oportunidades de inversión altamente interesantes, y que los modelos de negocio colaborativos entre ambos sectores se perciben como alternativas válidas de crecimiento en la etapa post-pandemia.

4. TECNOLOGIA DE CADENA DE SUMINISTRO: TENDENCIAS EN EL SECTOR PORTUARIO

En los apartados 2 y 3 de este trabajo se planteó cómo los puertos, y el sector logístico en su conjunto, se encuentran a mitad de camino en cuanto a convergencia tecnológica con otras industrias, en línea con reflexiones similares por parte de organizaciones como el Foro Económico Mundial [10]; si bien todo lo que sucede dentro de las terminales (especialmente todo lo relacionado con la automatización [11]), así como la estandarización de procesos e intercambio de información y datos caminan a muy buen ritmo, el sector cuenta todavía con margen de recorrido en materia de integración con otros participantes en la cadena de suministro, especialmente con transportistas terrestres, operadores logísticos y cargadores.

Algunos operadores portuarios, como PSA o DP World, se encuentran plenamente focalizados en el acceso al mercado 3PL, tradicionalmente servido por operadores logísticos y transitarios; la tendencia actual señala que el desarrollo de nuevos productos portuarios podría articularse en torno a dos grandes bloques: Visibilidad logística y sincronización multimodal y negocios logísticos de base tecnológica en recinto portuario.



DESCARTES



Tabla 3. Comparativa de valoraciones entre empresas logísticas y Supply Chain Tech.

Fuente: E2 Open y Yahoo Finance; datos a 11 junio 2021.

Enterprise Value (USDm)	4.977	8.465	23.690	66.830	44.330
Ingresos estimados '21 (USDm)	558	634	17.160	42.610	10.710
EBITDA estimado '21 (USDm)	204	148	1.450	9.100	5.140
Margen de EBITDA (%)	37%	41%	8%	21%	48%
EV / EBITDA ('21)	24,4x	57,2x	16,3x	7,4x	8,6x
EV/ Ingresos ('21)	8,9x	13,3x	1,4x	1,6x	4,1x

4.1. Visibilidad logística y sincronización multimodal

Si bien plataformas como Tradelens (basada en hitos o eventos), u otras plataformas en fase de lanzamiento (por ejemplo, Portbase-Cargo Controller¹² en Rotterdam) constituyen un soporte muy razonable para la consecución de visibilidad logística a lo largo de la cadena de suministro, estas no suelen contar todavía con capacidad predictiva en cuanto a tiempos de llegada a puerto (p-ETA) o en materia de planificación dinámica de flujo terrestre.

El hecho de no disponer de visibilidad logística con capacidad predictiva impide la sincronización multimodal de operaciones logísticas, teniendo ello impactos desfavorables para todos los agentes involucrados. A título ilustrativo se describen, a grandes rasgos, dichos impactos en el caso del transporte de mercancía contenerizada:

- **Las empresas navieras** operan en base a información a menudo estimada, -y no sincronizada en tiempo real-, en lo que concierne al inventario de sus contenedores (en tránsito marítimo y en el lado terrestre); ello dificulta tanto la gestión comercial como la operativa al no poder atenderse en ocasiones los requerimientos de los clientes, bien por falta de espacio a bordo, bien por no disponer de equipo adecuado en la localización requerida.

- **Las terminales** no pueden planificar adecuadamente sus recursos humanos y materiales, derivando ello en frecuentes déficits de capacidad portuaria tanto en el lado mar como en el lado tierra. Tal y como se señaló en el apartado 2.2 de este trabajo, a lo largo de 2020-21 en diversas terminales se han incrementado los ingresos por almacenamiento; sin embargo se constata como, habitualmente, dichos ingresos adicionales no compensan los sobrecostes y/o pérdida de negocio a largo plazo por los desvíos de tráfico asociados a la congestión.
- **Los transportistas por carretera** sufren a menudo largas esperas en las puertas de las terminales o en los accesos al recinto portuario, lo cual minimiza el número de rotaciones totales productivas que pueden realizar en una jornada.
- **Los cargadores** se encuentran a menudo con elevadas facturas por demora y detención de contenedores [12], siendo la problemática de tal magnitud que está siendo revisada a nivel regulatorio en economías avanzadas, destacando entre ellas Estados Unidos.

A nivel conceptual, para alcanzar un razonable grado de sincronización multimodal en terminales portuarias de modo que puedan optimizarse [13], [14] flujo terrestre, nivel de servicio, capacidad portuaria y costes de explotación se requeriría: a) La integración del Sistema de Operación de las Terminales (TOS) con

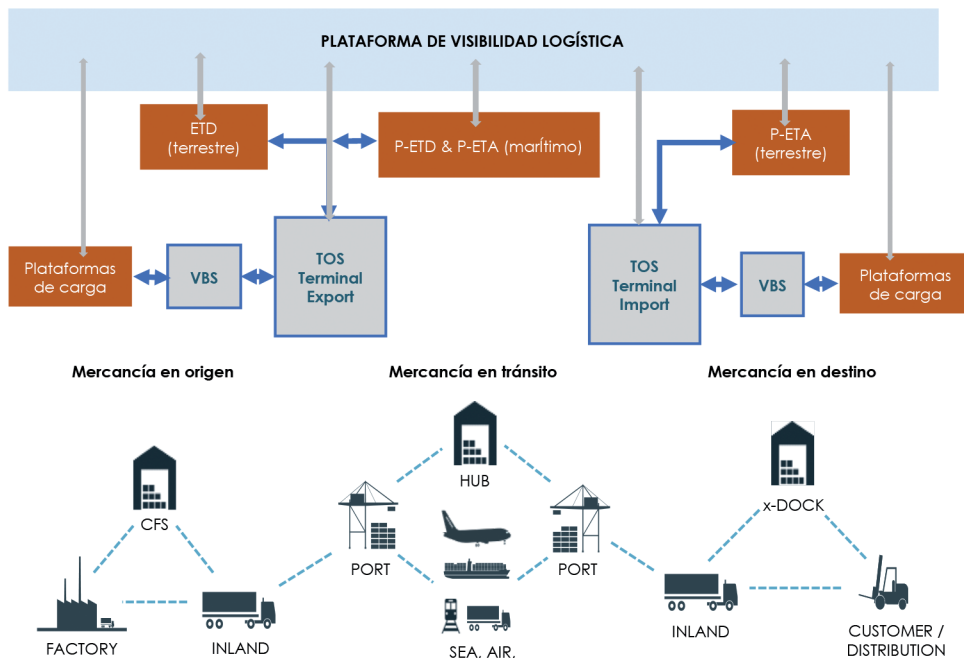


Figura 8. Uso de herramientas predictivas para la sincronización multimodal en terminales portuarias.

Fuente: Althium.

plataformas de visibilidad logística; b) El empleo de inputs predictivos (tiempos esperados de llegada y partida de contenedores) que puedan enriquecer el ciclo de planificación y ejecución de operaciones del TOS y sistemas de citas de transporte terrestre (VBS); y c) la integración del VBS con plataformas de carga, conectando a la oferta y la demanda de transporte terrestre.

Al margen de contribuir a la resolución de buena parte de las ineficiencias asociadas a la ausencia de sincronización multimodal, el empleo de herramientas predictivas como input a la planificación dinámica de VBS podría también mejorar el modelo actual de monetización ya presente en diversos puertos.

En concreto, la comercialización de slots en base a diferentes categorías y precios vendría asociada a un compromiso de nivel de servicio por parte la terminal (medido este, por ejemplo, en términos de tiempos máximos de espera en puerta o de ciclo en la terminal).

4.2. Negocios logísticos de base tecnológica en recinto portuario (*Port-Centric Logistics*)

El término *Port-Centric Logistics* agrupa las actividades logísticas que se realizan directamente en las instalaciones del recinto portuario una vez que la mercancía ingresa a las mismas.

Este modelo de negocio se presenta como alternativa al modelo logístico clásico (articulado en torno a

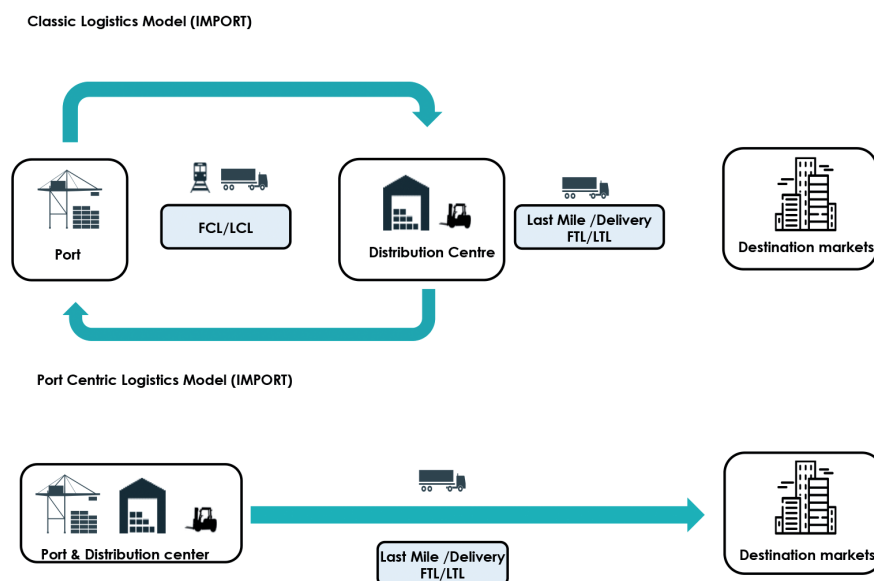
centros de distribución localizados en el hinterland) y suele aportar ventajas competitivas notables en términos de lead time y costes:

- Minimización del número de etapas de manipulación y distancia total recorrida por la mercancía, especialmente cuando la desconsolidación, clasificación y distribución final bien a almacén de fulfilment, bien last-mile se realiza directamente en puerto.
- Coste de suelo, en general y dependiendo del mercado, inferior al de los parques logísticos próximos a grandes centros de consumo y distribución; los puertos suelen contar con amplias superficies de depósito que posibilitan tanto los negocios inmobiliarios de naturaleza logística [15] (desarrollo de suelo e infraestructura para su posterior arrendamiento a terceros), como la prestación directa de actividades de almacenaje y distribución por parte del operador portuario.
- Ventajas fiscales (significativas en el caso de zonas francas o zonas económicas especiales portuarias, como Jebel Ali en Emiratos Árabes o Colón en Panamá).

La prestación de servicios logísticos en los puertos puede segmentarse de acuerdo con la tipología de la instalación portuaria, -bien *sea gateway* o transbordo-, y, en el caso del primer segmento, según se trate de puertos de exportación o de importación; para cada una de las tipologías encontramos a su vez diferentes herramientas tecnológicas de posible aplicación.

Figura 9. Comparativa entre modelo logístico clásico y Port-Centric Logistics.

Fuente: Althium.



	Puerto Export	Puerto Transbordo (en Zona Económica Especial)	Puerto Import
Actividades logísticas por tipología de puerto	Consolidación	<i>Transloading</i>	Desconsolidación
	Reposicionamiento de contenedores	Procesos de manufactura	<i>Transloading</i>
		Ensamblaje y Valor añadido	Reposicionamiento de contenedores
Tecnologías de cadena de suministro aplicables			<i>Postponement</i>
	TMS / First Mile Visibilidad logística Plataformas de carga	<i>Trade Management</i> Visibilidad producción WMS y Gestion de Inventario	TMS / Last Mile y WMS Plataformas de carga Visibilidad logística Visibilidad producción Gestión de Inventario

Tabla 4. Tecnología de cadena de suministro en *Port-Centric Logistics*.

Fuente: Althium

En el caso de **puertos de exportación**, categoría en la que se incluyen la mayoría de los puertos del sureste asiático, las actividades logísticas suelen centrarse en consolidación de cargas y el movimiento de contenedores vacíos entre terminal, depot y cargadores. Para esta tipología de puertos, destacan las herramientas digitales de visibilidad logística y de gestión del transporte (primera milla y *run milks*), con posibilidad de participación de plataformas de carga.

Los **puertos de transbordo** situados en zonas francas o zonas económicas especiales (por ejemplo, Jebel Ali en Emiratos Árabes Unidos o Colón en Panamá) suelen contar con un marco fiscal que favorece la inversión directa extranjera e implantación de empresas que realizan actividades de ensamblaje y manufactura en el interior de sus recintos; entre dichas ventajas destacan la ausencia de restricciones al capital foráneo, tipos impositivos nulos, -o muy reducidos-, en impuesto de sociedades y tributos locales y la posibilidad de reexportar sin aranceles adicionales la mercancía sometida a procesos de adición de valor tales como ensamblaje, customización u otros.

Para esta tipología de puertos, existen diversos proveedores de software especializados en visibilidad de las diferentes etapas de producción, gestión de almacenaje (WMS) e inventario, así como *trade management* y optimización fiscal.

Por último, en los **puertos de importación** las operaciones logísticas suelen centrarse en la desconsolidación de mercancías, operaciones de valor añadido (como la customización o el empaquetado) y la distribución de última milla. En puertos en esta categoría, entre los que podríamos destacar a London Gateway (DP World), encontramos soluciones digitales orientadas hacia el transporte (TMS y plataformas de carga) y almacenaje y gestión de inventario (WMS).

5. CONCLUSIONES

Los puertos se encuentran inmersos en pleno proceso de transformación digital, avanzando dicho proceso a doble velocidad: Mientras los puertos de mayor dimensión están capitalizando las nuevas oportunidades de negocio brindadas por la tecnología y desarrollando nuevos productos y servicios digitales, los de menor tamaño se encuentran más rezagados o al inicio de dicho recorrido.

Las empresas de tecnología de cadena de suministro aparecen como *partners* idóneos para los puertos, no solo por su trayectoria contrastada de generación de valor en el sector logístico, sino también por suponer dicho modelo una alternativa rápida y eficaz para la resolución de los problemas acuciantes a los que se enfrenta las cadenas de suministro globales, las cuales requieren fluidificar y optimizar el paso de la mercancía a través de los recintos portuarios.

Dicha optimización, cuya consecución podría medirse a través del grado de sincronización entre los flujos marítimo y terrestre, podría alcanzarse mediante la integración de herramientas y tecnologías consolidadas en el negocio marítimo-portuario (Port Community Systems, *Terminal Operating Systems* y *Vehicle Booking Systems*), con soluciones de visibilidad logística predictiva y TMS habituales en gestión de cadena de suministro.

Por otra parte, la generación de valor e incrementos de rentabilidad asociados a modelos distributivos *Port-Centric Logistics* ha conducido a operadores portuarios globales, como DP World o PSA, a pivotar su orientación estratégica hacia la prestación de servicios de gestión de cadena de suministro (3PL) en los que el *partnering* digital con socios tecnológicos juega un papel determinante.

6. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Óscar Pernía (Next-Port), Graham Parker y Nick Daly (*Gravity Supply Chain Solutions*) y Ernst-Joerg Oberhoessel y Aftab Ansari (Roambee) su colaboración en la elaboración de este trabajo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PRINCIPALES

- [1] Linde M.; Michaelides M.; Ward R.; Watson R.T. *Maritime Informatics* (2021). Springer
- [2] Linde M.; Michaelides M.; Ward R.; Watson R.T. *Maritime Informatics, additional perspectives and applications* (2021). Springer
- [3] Becha, H, Lind M., Simha A.; Bottin F. (2020). *Smart Ports: On the move to become Global Logistics Information Exchange Hubs* < <https://www.offshore-energy.biz/smart-ports-on-the-move-to-become-global-logistics-information-exchange-hubs>>
- [4] Goldratt E.M., Cox J. *The Goal: Excellence in Manufacturing* (1984). North River Press
- [5] Freight Waves (2020). <<https://lgi.laufer.com/news/associations-seek-relief-from-detention-demurrage-fees-in-backed-up-la-long-beach-ports>>
- [6] Journal of Commerce (2021): <https://www.joc.com/maritime-news/biden-executive-order-adds-urgency-fmc-review-ocean-ship-ping_20210709.html>
- [7] Port of Los Angeles (2021) <<https://www.portoflosangeles.org/business/supply-chain/port-optimizer%E2%84%A2>>
- [8] Armstrong & Associates (2020): <https://www.3plogistics.com/3pl-market-info-resources/3pl-market-information/global-3pl-market-size-estimates/>
- [9] Pitchbook (2020) *Supply Chain Tech research Q1 2020*.
- [10] World Economic Forum (2020): The digital transformation of logistics: Threats and opportunities:<<http://reports.weforum.org/digital-transformation/the-digital-transformation-of-logistics-threat-and-opportunity/>>
- [11] Ericsson. *Connected Ports, a guide to making ports smarter with private cellular technology* (2020)
- [12] Ocean Insights. *Whitepaper on demurrage and detention* (2020)
- [13] Russell D.; Ruamsook K.; Roso V. *Managing Supply Chain uncertainty by building flexibility in container port capacity: A logistics triad perspective and the Covid-19 case* (2020).
- [14] Pernía Fernández, Óscar. *Tecnologías exponenciales en puertos 4.0: Inteligencia Artificial* (2021)
- [15] Savills (2020). *Port-Centric Logistics report. Winter 2020*.

8. NOTAS

1. <https://ipcsa.international/publications/pcs-for-small-and-medium-sized-ports/>
2. <https://cargomatic.com/>
3. <https://www.freightwaves.com/news/how-big-is-the-logistics-industry>
4. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/third-party-logistics-market>
5. <https://www.maersk.com/news/articles/2019/06/25/maersk-introduces-maersk-spot>
6. <https://www.msc.com/book-now>
7. <https://www.joc.com/technology/logistics-technology-providers/tradelens>
8. <https://dcsa.org/>
9. https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/logistics/brochures/isc/dhl_international_supply_chain_flyer_v0.1_november2014.pdf
10. <https://www.infor.com/products/supply-chain-management/procure-to-pay>
11. <https://blog.roambee.com/supply-chain-technology/how-to-track-your-ocean-container-with-iot>
12. <https://www.portbase.com/en/services/cargo-controller/>

ECO-SISTEMAS PORTUARIOS DIGITALES PARA LA EXCELENCIA OPERATIVA

María Román del Molino

Ingeniera de Telecomunicación.

Jefa de División de Operaciones y Servicios a la Comunidad Portuaria. Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras.

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO
2. PUERTO BAHÍA DE ALGECIRAS: VISIÓN
3. AUTORIDAD PORTUARIA BAHÍA DE ALGECIRAS: ESTRATEGIA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL
 - 3.1. Comunicación Avanzada e Infraestructura Digital
 - 3.2. Plataformas de Gestión Portuaria
 - 3.3. Plataforma Avanzada de Analítica de Datos, Sistemas Colaborativos y de Inteligencia Artificial
4. PORT COMMUNITY SYSTEM DEL PUERTO BAHÍA DE ALGECIRAS
5. CONCLUSIÓN Y PUNTOS CLAVES
6. AGRADECIMIENTOS
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
8. NOTAS



MARÍA ROMÁN DEL MOLINO

Ingeniera de Telecomunicación.

Jefa de División de Operaciones y Servicios a la Comunidad Portuaria.

Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras.

Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad de Sevilla, realizó el Programa de Perfeccionamiento Directivo (PPD) de San Telmo Business School. Inició su carrera profesional en la consultora multinacional Accenture, donde adquirió la categoría de Project Manager dirigiendo múltiples proyectos nacionales e internacionales de consultoría IT.

Pasó al sector portuario en 2011 de la mano de la empresa Portel Logistic Technologies, en la que, como Manager de la delegación de Algeciras, desarrolló funciones de directora técnica y funcional durante 6 años, adquiriendo un profundo conocimiento del sector logístico-portuario.

Desde 2017 ejerce como Jefa de División de Operaciones y Servicios a la Comunidad Portuaria en la Subdirección General de Explotación de la Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras (APBA), en donde tiene a su cargo la planificación, gestión y optimización de las operaciones terrestres y servicios portuarios, centrados en agilizar los procesos físicos y documentales asociados al tráfico de pasajeros y de mercancías. Entre los distintos proyectos que lidera, destaca su papel como directora funcional del Port Community System (PCS).

RESUMEN

En el escenario actual, el sector logístico se enfrenta a importantes retos, y el impacto en Puertos es significativo. Agentes públicos y privados necesitan una eficiente coordinación para redefinir de forma efectiva los paradigmas a nivel de procesos y tecnología.

Los puertos necesitan transformarse en nodos logísticos más proactivos y transparentes. Por ello, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) considera que su papel fundamental en el puerto debe ser el de orquestador de las operaciones que tienen lugar en su ecosistema, y para ello ha establecido la transformación digital y la innovación como pilares esenciales de su estrategia de negocio.

A través de su Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones, donde el Port Community System (PCS) es clave, la APBA busca la excelencia operativa.

Los PCS son sistemas fundamentales para catalizar la digitalización de los Puertos y sus Comunidades Portuarias, produciendo una respuesta efectiva a los requerimientos de visibilidad en tiempo real y fiabilidad por parte de los operadores logísticos y propietarios de la carga, así como de cara a reducir el impacto medioambiental de las operaciones asociadas.

PALABRAS CLAVE

Puerto inteligente, just-in-time, visibilidad, sostenibilidad, fiabilidad, Port Community System, sincromodalidad.

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

La presencia en el mercado de las grandes plataformas logísticas a nivel mundial (Amazon, Alibaba) hace estrictamente necesario que los puertos aumenten su competitividad. Un puerto ha de estar integrado *end-to-end* en las cadenas logísticas globales, y este es uno de los principales retos a los que se enfrentan en la actualidad. Ya no sirve el mero hecho de proporcionar las infraestructuras necesarias para la realización de las operaciones, sino que todas las partes involucradas esperan una mayor eficiencia, sostenibilidad y visibilidad mediante el uso de las últimas tecnologías al alcance de los usuarios.

Los puertos han de modernizarse, favoreciendo el establecimiento de una coordinación eficiente entre todos los agentes involucrados en el ecosistema portuario, tanto a nivel operativo como de flujo de información. Del mismo modo, han de favorecer el crecimiento del comercio global y crear valor, por lo que su misión fundamental ha de basarse en ser un motor que acelere el flujo de mercancías a través de las cadenas logísticas.

En los procesos de importación, exportación y transbordo de mercancía en un puerto, intervienen diversos agentes públicos y privados. Para todos ellos es importante disponer de una previsión y visibilidad en tiempo real, tanto documental como de la trazabilidad física de la mercancía. Sin embargo, a nivel general, estos *stakeholders* intervienen en las cadenas logísticas de forma aislada y no trabajan de forma coordinada. Cada parte interesada actúa y toma decisiones de forma independiente, a pesar de que todos ellos buscan un fin común y las actividades logísticas transcurren de forma consecutiva.

Esa falta de coordinación y visibilidad da lugar a grandes ineficiencias, lo que repercute en mayores costes, mayores emisiones al medio ambiente y superiores tiempos de tránsito de la mercancía. La visibilidad *end-to-end* sobre las cadenas logísticas es una de las prioridades estratégicas más demandadas por las empresas en los últimos años, pero solo el 6% ha alcanzado este objetivo (*Geodis – 2017 Supply Chain Worldwide Survey*).

Es por ello que es más que necesario el disponer de unos procedimientos operativos eficientes y de una coordinación entre actores que permita una disminución de los tiempos de espera, favoreciendo una mayor agilidad en los tiempos de tránsito y una reducción de la huella de carbono emitida, tanto por los buques a consecuencia de la optimización de los períodos de navegación entre puertos, como por el resto de medios de transporte.

En la actualidad, la información intercambiada entre las partes involucradas en el ecosistema logístico-portuario no sigue unos estándares, se envía punto a punto, no se comparte, los datos son inconsistentes, no están actualizados en tiempo real, los mismos datos son introducidos por distintas fuentes dando lugar a multitud de errores y existen múltiples huecos de información.

A consecuencia de ello, muchos operadores logísticos y clientes finales ven a los puertos como puntos de ruptura de las cadenas logísticas. Es complicado tener trazabilidad y visibilidad en tiempo real, y aún menos, tener previsiones con fiabilidad. Esto da lugar, en definitiva, a la pérdida de confianza e insatisfacción de los clientes finales por la calidad del servicio que perciben.

Todas estas afirmaciones quedan reflejadas en las encuestas realizadas a ejecutivos y publicaciones especializadas del sector logístico (*Competitive Gain in the Ocean Supply Chain study and report*, *BPI Network*, *XVELA and Navis*), donde un alto porcentaje de los encuestados percibe una pobre coordinación entre los agentes involucrados, poca transparencia y visibilidad, e ineficiencias en las cadenas logísticas.

Es de vital importancia el acceso e intercambio de la información en tiempo real, y la mejora de los procesos operativos para la toma proactiva de decisiones. Se necesita una entrega en el menor tiempo posible al cliente final, con un alto grado de calidad en el servicio, eficiencia operativa, reducción de costes y sostenibilidad.

2. PUERTO BAHÍA DE ALGECIRAS: VISIÓN

Según establece el ranking *Container Port Performance Index (CPPI)*, elaborado por el Banco Mundial y la consultora IHS Markit, el Puerto Bahía de Algeciras (en adelante, PBA) es el más eficiente de España, Europa y el Mediterráneo, y el décimo del mundo de una lista que encabezan los puertos asiáticos. Además, hablando en términos de carga total, el puerto algecireño ocupa el primer puesto de las dársenas del Mediterráneo y el cuarto a nivel de la Unión Europea (figura 2).

Uno de los puntos fuertes del PBA es su excepcional ubicación geoestratégica. Situado en el Estrecho de Gibraltar, constituye un nodo marítimo y logístico clave a nivel global para el intercambio intermodal, dado que permite unir el comercio de Europa con el continente africano, así como el Mediterráneo con el Atlántico (figura 3).

Esto es debido a que el Estrecho de Gibraltar es una zona estratégica de navegación, y obligado paso de las principales rutas de mercado Norte-Sur-Este-Oeste, siendo un punto de desviación cero para las grandes rutas transoceánicas.



Figura 1. Los mayores retos que afectan al sector logístico.

Extracto de la encuesta *Competitive Gain in the Ocean Supply Chain study and report*, *BPI Network*, *XVELA and Navis*.

Figura 2: Puerto de Algeciras - Décimo en el Ranking de eficiencia portuaria según The Container Port Performance Index 2020 (elaborado por World Bank Group y la consultora IHS Markit). Cuarto puerto de la Unión Europea y el primero en el Mediterráneo a nivel de carga total.

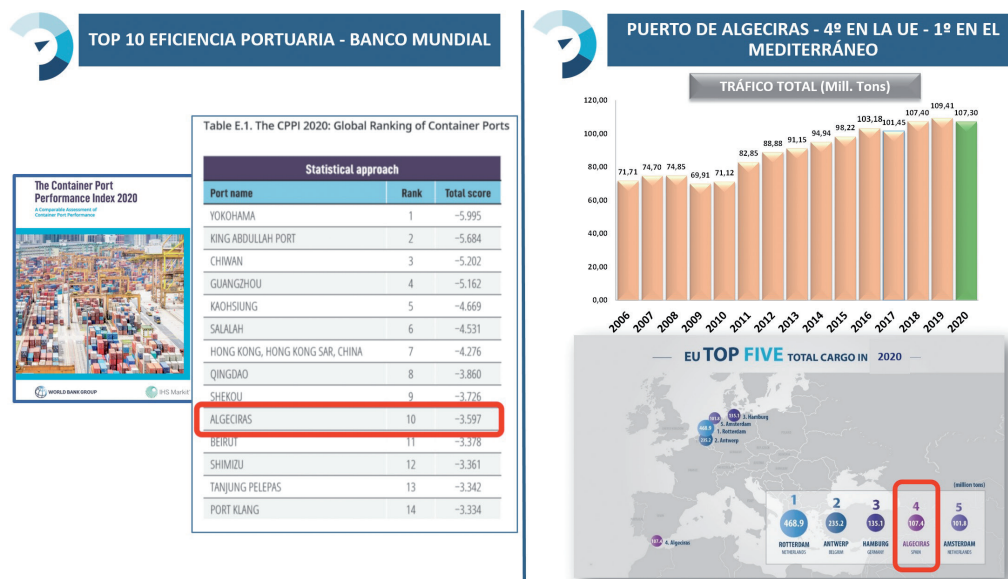
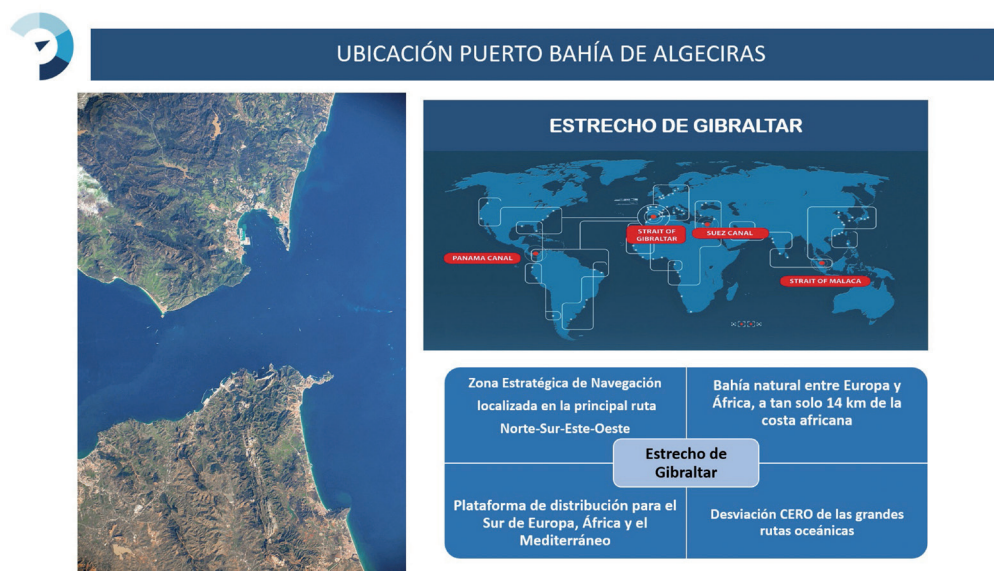


Figura 3. Localización del Puerto Bahía de Algeciras. El Estrecho de Gibraltar.



A todo ello se suma el hecho de que el PBA cuenta con una bahía natural cuyo calado y abrigo excepcional permiten operar a los buques de todas clases de forma segura. Algeciras se encuentra a tan solo 14 kilómetros de la costa africana, constituyéndose como la puerta de entrada del sur de Europa.

Con estos datos, y teniendo en cuenta los puntos detallados en la sección previa, está claro que el PBA ha de estar a la vanguardia de la tecnología, dando respuesta a las necesidades del mercado logístico actual y adaptando sus procesos para satisfacer la demanda de los operadores logísticos y clientes finales.

De hecho, en su visión estratégica se detalla el objetivo fundamental de “consolidarse como plataforma logística intercontinental y nodo portuario e intermodal de referencia en el Mediterráneo, liderando el tránsito de contenedores y productos petrolíferos en el Estrecho de Gibraltar, afianzándose como puerta sur de Europa para los tráficos comerciales de África y las Américas, y constituyéndose como centro de excelencia en servicios marítimos y portuarios para el pasajero, el buque y la mercancía”.

Para hacer realidad esta visión, aumentar su competitividad y maximizar la creación de valor, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (en adelante,

APBA), establece a la Transformación Digital y a la Innovación como pilares fundamentales de su Estrategia de Negocio, siendo su principal objetivo el ofrecer una calidad de servicio excelente.

3. AUTORIDAD PORTUARIA BAHÍA DE ALGECIRAS: ESTRATEGIA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL

La propuesta de valor de la APBA consiste en ofrecer unas infraestructuras y una calidad de servicio excelentes aprovechando su excepcional ubicación geoestratégica en el Estrecho de Gibraltar, considerando como “calidad de servicio excelente” el disponer de una conectividad logística avanzada, completitud de servicios, eficiencia, fiabilidad y sostenibilidad.

Los procesos operativos que tienen lugar en su puerto son de gran complejidad logística, ya que se integran multitud de actividades con diferentes protagonistas. Entre otros, se encuentran la propia Autoridad Portuaria, otras Administraciones Públicas (Cuerpos y Fuerzas de Seguridad del Estado, Marina Mercante, Aduanas o Servicios de Inspección en Frontera), concesionarios, licenciatarios, proveedores de servicios, clientes y usuarios.

Teniendo en cuenta este escenario, y con el objetivo de maximizar su propuesta de valor, la APBA considera fundamental avanzar hacia un rol más proactivo de orquestador o coordinador de las operaciones que tienen lugar en el ecosistema logístico portuario. De este modo, se consigue maximizar la aportación de valor, tanto a todos los agentes de la comunidad logística portuaria, como a los clientes finales.

Este rol de orquestador, coordinador de operaciones o facilitador del negocio, consiste en ayudar a los distintos agentes del ecosistema portuario a realizar mejor su trabajo, favoreciendo la coordinación entre ellos, eliminando los tiempos de espera, aumentando la visibilidad y productividad, y favoreciendo la reducción de las emisiones de carbono a la atmósfera.

La APBA dispone de un Centro de Coordinación de Procesos, similar a una Torre de Control en un aeropuerto, donde personal especializado trabaja en turnos 24x7 controlando todas las operaciones que tienen lugar en el puerto, tanto marítimas como terrestres. El objetivo principal es asegurar las operaciones coordinadas de todos los agentes involucrados en la actividad portuaria, con el propósito de facilitar el seguimiento, el control y la intervención en los procesos. De este modo, es posible alinear la operativa del puerto a los objetivos estratégicos, alcanzando la excelencia en la gestión y en la prestación del servicio.

Para poder liderar la coordinación de estos procesos complejos, la APBA está implementando una Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones, y está trabajando en la optimización y definición de un nuevo Modelo Operativo de Gestión de Procesos.

La Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones está llamada a ser la principal herramienta del Centro de Coordinación de Procesos. Mediante su uso, se obtiene visibilidad en tiempo real de todas las operaciones, se realizan predicciones sobre posibles cuellos de botella e incidencias, y se toman decisiones para evitar problemas antes de que éstos ocurran.



Figura 4. Centro de Coordinación de Procesos de la APBA.

Esta Plataforma se puede definir como un conjunto de sistemas y plataformas, pudiéndose diferenciar tres grandes niveles o capas:

3.1 Comunicación Avanzada e Infraestructura Digital

Con el objetivo de tener una capa digital básica con información en tiempo real de diferentes actividades que se desarrollan en el puerto, la APBA ha llevado a cabo la implementación de un ecosistema digital mediante la instalación de los siguientes sistemas:

3.1.1 Sistema de Captación y Tratamiento de Imágenes (SCI), con un gran despliegue y cobertura de cámaras de video IP para la gestión y explotación portuaria.

3.1.2. Sistema Integral de Gestión de Control de Accesos (SIGCA), que ha permitido, mediante el uso de cámaras y sistemas OCR y LPR, automatizar los accesos al puerto y facilitar la trazabilidad de la mercancía y vehículos mediante lectores de matrículas, contenedores y sus códigos IMO.

3.1.3. Sistema Autónomo de Medición, Predicción y Alerta Met-Ocean (SAMPA), uno de los sistemas más avanzados del mundo de monitorización y predicción océano-meteorológica.

A su vez, la APBA ha llevado a cabo la instalación de sensores de IoT a lo largo de las infraestructuras portuarias (estaciones meteorológicas, de oleaje, de calidad de aire, trazabilidad de tráfico pesado, intrusión, vídeo-cámaras de alta resolución, dispensadores de agua, de electricidad, etc.) que envían sus señales a través de una infraestructura de comunicación avanzada (fibra óptica, radio enlaces, Wi-Fi, LTE Privado y 5G). Podría considerarse, por tanto, el “Sistema Nervioso Digital” del Puerto. Todo ello permite que desde el Centro de Coordinación de Procesos se obtenga una visibilidad total en tiempo real de lo que sucede en el puerto.

3.2 Plataformas de Gestión Portuaria

Se trata de una serie de plataformas que permiten una gestión operativa eficiente y la digitalización de las operaciones. Además, favorecen la coordinación, tanto a nivel operativo como de flujo de información, entre todos los agentes vinculados en la cadena logística portuaria. En este caso podría asimilarse al “Corazón Operativo del Puerto”. Estas plataformas son:

3.2.1. Port Management System (PMS), que constituye el centro de gestión operativo del PBA. Está enfocado principalmente a la gestión de operaciones relacionadas con la escala de buques en puerto y, a nivel operativo, es la plataforma que usan la APBA y la Corporación de Prácticos de Algeciras para la gestión de estancias y maniobras de buques, coordinando la disponibilidad de atraques y recursos técnico-náuticos, capturando en tiempo real y estimando en base a algoritmos, la información relevante para ello.

3.2.2. Port Community System (PCS), que es la plataforma de coordinación operativa y de intercambio de flujos de información entre todos los agentes involucrados en la cadena logística. A grandes rasgos, se considera la plataforma que permite la integración entre todos los agentes del ecosistema logístico portuario, y su foco principal está en la ordenación y optimización de los procesos, en la simplificación de la gestión documental asociada al flujo de mercancías y pasajeros, el aprovechamiento de la información para hacer más eficientes los procesos operativos, y su integración con otras plataformas digitales usadas en la gestión logística y el comercio internacional.

3.2.3. Sistema de Gestión Integral de Infraestructuras e Instalaciones en Entornos Virtuales (SG3IEV), que es un sistema de información geográfica en 3D con integración en tiempo real del resto de sistemas y dotado con un gestor de eventos complejos. Constituye un “gemelo digital” orientado a la gestión de la seguridad del puerto.

3.3 Plataforma Avanzada de Analítica de Datos, Sistemas Colaborativos y de Inteligencia Artificial.

Aprovechando el potencial de generación de grandes volúmenes de datos de los distintos sistemas y plataformas implantados por la APBA, y detalladas en los puntos anteriores, se dispone de una plataforma analítica portuaria que permite convertir datos en información útil de negocio, y compartirla con el resto de actores. Siguiendo con el símil anterior, sería el “Cerebro Portuario”. Basándose en técnicas de Inteligencia Artificial (AI) y *Machine Learning*, los sistemas usan estos datos para “aprender” el negocio y permitir la:

- **Predictibilidad** de todos los eventos operativos relevantes, permitiendo mejorar las labores de planificación, detectar posibles cuellos de botella y poder responder mejor ante interrupciones/desviaciones.



Figura 5. Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones de la APBA.

- **Prescriptibilidad** en las operaciones desde una posición holística del ecosistema logístico-portuario, para maximizar la creación de valor en el Puerto.

A modo resumen, la Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones es una plataforma de plataformas, que proporciona información al Centro de Coordinación de la APBA en tiempo real de todos los eventos físicos y documentales que ocurren en el puerto, realiza predicción de todos estos eventos, siendo capaz de sugerir o recomendar acciones basadas en Inteligencia Artificial para aumentar la eficiencia del puerto y de la cadena logística a nivel global.

Por todo lo expuesto anteriormente, el PBA tiene un ecosistema digital avanzado, completamente integrado en el negocio, con conectividad de última generación, plataformas digitales de colaboración logística para hacer realidad el concepto de Puerto de Última Generación, es decir un puerto *Just-in-Time*, inteligente y sostenible.

4. PORT COMMUNITY SYSTEM DEL PUERTO BAHÍA DE ALGECIRAS

Uno de los sistemas más estratégicos de esta Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones es el *Port Community System* (en adelante, PCS), instrumento clave para la digitalización, integración y coordinación eficiente entre todos los *stakeholders* de la comunidad logística-portuaria.

El foco de esta plataforma está en la simplificación de la gestión documental asociada al flujo de mercancías y pasajeros, el aprovechamiento de la información para optimizar los procesos operativos, y su integración con otras plataformas digitales usadas en la gestión logística y el comercio internacional.

De hecho, la IPCSA¹, a la que la APBA pertenece como miembro, define el concepto de PCS como “plataforma electrónica abierta y neutral que facilita el intercambio de información seguro e inteligente entre operadores privados y entidades públicas con el objetivo de mejorar la posición competitiva de las comunidades portuarias”.

El PBA dispone de un PCS, denominado *Teleport*, que presta una serie de servicios fundamentales a la comunidad portuaria. Éstos se engloban en dos grandes bloques:

- Servicios dirigidos al buque, denominado Teleport Servicios Portuarios, que incluye todos los servicios que pueden ser requeridos por un buque.
- Servicios dirigidos al tráfico pesado terrestre, denominado Teleport Tráfico Pesado. Éste incluye distintos módulos de gestión de este tipo de tráfico, con el objetivo de aumentar la seguridad en los accesos a las distintas zonas portuarias y obtener la trazabilidad de los vehículos que circulan por el recinto portuario, recabando datos que permitan estudiar posibles reordenaciones del tráfico.

Dado que la APBA considera que el PCS es una herramienta estratégica para toda la comunidad logística portuaria, está convencida de la necesidad de llevar a cabo una evolución del mismo hacia el concepto de Teleport 2.0, con el objetivo de contar con una plataforma más eficiente desde el punto de vista logístico.

Esta evolución se ha planteado en el sentido más amplio. Una evolución tecnológica de la plataforma, una evolución a nivel de funcionalidades logísticas-portuarias, y la definición de un modelo de gestión y operación óptimo. Todo ello con un principal objetivo: crear valor a la comunidad logística portuaria en su conjunto a través de una plataforma que aporte mayor fiabilidad, más eficiencia y una total transparencia y trazabilidad de los pasajeros y la mercancía a lo largo de toda la cadena logística portuaria.

La nueva versión del PCS del PBA parte de un cambio de enfoque hacia Servicios de Valor Añadido (en adelante, SVA) *Business to Business* (B2B), *Business to Government* (B2G) and *Government to Government* (G2G), realizado después de la definición de un plan estratégico de evolución de la herramienta. Éste se ha basado en la identificación de los distintos SVA que debe contener el PCS para permitir la integración del puerto “sin costuras” a lo largo de toda la cadena logística, y en la realización de una comparativa de mercado internacional, con el objetivo de que el PCS de la dársena algecireña esté al nivel de los utilizados por los puertos más importantes del mundo.

Una vez identificados los SVA, se llevó a cabo la definición de detalle del análisis y diseño funcional, así como el diseño técnico detallado de los mismos y la definición del modelo organizativo y de operación del nuevo PCS. Para ello, la APBA ha contado con la estrecha colaboración de toda la comunidad logística portuaria, con la que ha mantenido más de ciento veinte reuniones.

La APBA está abordando el desarrollo del nuevo PCS en tres fases:

- **Fase 1:** Diseño e implementación de la arquitectura e infraestructura tecnológica.
- **Fase 2:** Desarrollo y puesta en producción del software de los SVA sobre la infraestructura definida en el bloque anterior.
- **Fase 3:** Operación, mantenimiento y evolución de la plataforma.

Estas fases han sido licitadas de forma independiente, y actualmente se encuentra en ejecución el proyecto de diseño e implementación de la arquitectura e infraestructura tecnológica.

La fase 1 o arquitectura e infraestructura tecnológica de Teleport 2.0, se puede definir como el elemento tecnológico común de intercambio de mensajes que garantiza la comunicación entre los distintos módulos de negocio SVA.

Figura 6. Servicios de Valor Añadido de Teleport 2.0 (PCS del Puerto Bahía de Algeciras).



La arquitectura de la infraestructura tecnológica es distribuida, basada en microservicios y hospedada en servicios de *cloud* público, constituyendo la base tecnológica donde se implementarán los distintos SVA desarrollados en la fase 2.

En cuanto a los SVA finalmente seleccionados, destacar que se están implementando en la plataforma tecnológica un total de diez, y están estructurados en tres grandes grupos: SVA del lado mar, SVA de puerto y SVA de lado tierra. Además de un último servicio, denominado Servicio de Información, que es un servicio transversal a todos los anteriores, y está dirigido tanto a toda la comunidad portuaria como al importador/exportador con el objetivo de disponer, de una forma holística, de toda la trazabilidad (a nivel de eventos físicos e intercambio documental) de la mercancía a lo largo de la cadena logística. Todo ello gracias a las sinergias entre el resto de servicios implementados en el PCS (figura 6).

A continuación, se exponen y describen, a alto nivel, cada uno de los SVA que están siendo implementados:

Servicio de Listas de Carga y Descarga (SLCD)

Su objetivo es simplificar la gestión y la comunicación de las unidades de transporte intermodal (en adelante, UTI) a cargar y descargar de un buque, proporcionando las herramientas necesarias para compartir la información de forma telemática en un único formato entre los distintos actores participantes en el procedimiento. De este modo, es posible verificar el estado aduanero de la mercancía previo a la carga. Estos datos se pueden reutilizar en otros documentos de otros circuitos telemáticos relacionados con el tráfico marítimo de mercancías y movimientos de UTI.

Se trata de un servicio disponible tanto para mercancía contenerizada como para mercancía rodada.

Servicio de Generación y Envío de Relación por Medio de Transporte Electrónicas (SRMT)

El objetivo del servicio de RMT es agrupar en un único punto toda la documentación aduanera relacionada con la mercancía contenida en una UTI, mediante las cargas de trazabilidad de documentación aduanera recibidas de la aduana y la introducción de datos por parte del representante aduanero, para completar los casos en que la UTI no esté referenciada al despachar. Todo ello, en última instancia, permite incrementar el número de salidas

de mercancías por mar sin papel, lo que contribuye asimismo a agilizar los trámites asociados a la carga de mercancía en un buque.

La RMT se puede considerar como la carpeta virtual que contiene toda la documentación aduanera que ampara la salida de toda la mercancía contenida en una UTI.

Se trata de un servicio disponible tanto para UTI de carga completa (mercancía de un solo cargador) como para grupaje de mercancías (mercancía de varios cargadores en una UTI).

Servicio Unificado de Mercancías por Carretera (SUMC)

El objetivo de este servicio es ofrecer una ventanilla única para gestionar los procesos relacionados con la entrada o salida de mercancía vía terrestre (por carretera) al PBA, así como su acarreo interno.

El servicio SUMC permite a los distintos actores de la comunidad logístico-portuaria disponer de un documento único por medio de transporte, en el cual se vaya asociando distinta información a medida que los actores se vean involucrados y el proceso de transporte avance.

Este servicio considera los procesos documentales y algunos físicos involucrados en los siguientes subprocesos asociados a la entrada y salida de mercancía vía terrestre al Puerto:

- Petición de embarque o reserva de transporte marítimo.
- Emisión de la Orden de Transporte Unificada:
 - Admitase
 - Entréguese
 - Orden de Transporte
- Solicitud de cita para acceder a las terminales de contenedores.
- Notificación de cita para acceder tanto al recinto portuario como al parking de la Terminal de Tráfico Pesado (TTP).
- Notificaciones de entrada y salida de la UTI del puerto, de las terminales, de los *depots* y de la TTP.

El SUMC cubre los procesos asociados al transporte de mercancías por carretera para las UTI contenedor, semirremolque o camión autopropulsado en el Puerto. Engloba tanto la entrada como la salida terrestre de las distintas UTI, así como los transbordos de contenedores entre terminales.

Servicio Unificado de Gestión de Buques (SUGB)

El objetivo del SUGB es, principalmente, dotar a los consignatarios de buques y mercancías, así como a las compañías navieras, de un punto de acceso centralizado de la información relativa a los movimientos de buques, mercancías y UTI, asociados a una escala, aplicando la lógica de negocio que corresponda en cada caso y orientado a una gestión integral que permita aprovechar al máximo la información generada por la propia empresa en otros servicios de valor añadido, así como la proporcionada por proveedores y clientes, como se especifica en otros SVA del PCS, reduciendo tanto la doble entrada de datos como la información inexacta por error u omisión.

Servicio de Coordinación de Solicitudes de Inspección (SCSI)

Su objetivo es facilitar al representante aduanero la realización de una solicitud de inspección en el Puesto de Control Fronterizo (PCF) y/o escáner para una UTI que deba ser inspeccionada por los Servicios de Inspección en Frontera y/o por la Aduana en el PCF, o bien deba pasar por el escáner de la Aduana. Este servicio permite asimismo informar de los estados, hitos y eventos en que se encuentra dicha UTI en el circuito de inspección.

El servicio SCSI integra la gestión de las solicitudes de inspección documental y/o física, intrusiva y/o no, en el PCF y/o en el escáner. Se incluye también la notificación de los estados y eventos asociados a cada UTI por parte de la entidad gestora del PCF o del escáner (Aduanas), además de la notificación del número del nuevo precinto colocado en la unidad.

Se trata de un servicio disponible tanto para mercancía contenerizada como para mercancía rodada.

Servicio de Manifiestos de Exportación y Declaraciones Sumarias (SDSM)

El objetivo de este servicio es agilizar la generación, revisión y el envío de las Declaraciones Sumarias de Depósito Temporal (DSDT) y los manifiestos de carga ofreciendo, entre otras funcionalidades, una herramienta para la precarga de datos con el objeto de simplificar la elaboración del manifiesto de carga y minimizar errores.

Este servicio, disponible tanto para mercancía contenerizada como para mercancía rodada y

mercancía a granel, permite básicamente generar y enviar los manifiestos de carga y Declaraciones Sumarias de Depósito Temporal.

Servicio Solicitud de Autorización de Mercancías Peligrosas (SSAMP)

Este SVA se centra en las funcionalidades asociadas con el envío del HAZMAT (*HAZardous MA-Terials*) de entrada y salida, la solicitud de autorización de entrada de mercancías peligrosas al recinto portuario, y la comunicación de la ubicación específica de las mercancías peligrosas en las terminales del puerto.

Este servicio es de aplicación a todas las UTI que transporten mercancías peligrosas.

Servicio de Control al Pasaje (SCP)

Los principales objetivos de este servicio son la automatización del servicio de verificación de billetes, reservas, localizadores y tarjetas de embarque, en tiempo real, en todos los puntos de control del puerto para los pasajeros y vehículos así como la generación de una tarjeta de embarque genérica durante los periodos de intercambiabilidad, principalmente durante la Operación Paso del Estrecho, lectura de las tarjetas de embarque, obtención de lista de pasajeros y generación de borrador de PAXLST.

Servicio Unificado de Gestión del Ferrocarril (SUGF)

El objetivo de este servicio es simplificar la gestión y la comunicación de:

- La programación de las llegadas y salidas de trenes en el PBA.
- Las UTI a cargar y descargar de un tren en las terminales ferro-portuarias del PBA, a través de la creación de listas de carga y descarga.
- El envío de informes de carga y descarga (parciales o completos) a los interesados (operadores ferroviarios, compañías navieras, operadores logísticos, Aduana, APBA).
- La consulta del estado aduanero de la mercancía previa a la carga de UTI al tren.
- La validación a la llegada o la autorización o denegación de la salida de una UTI en tren.
- La notificación, tanto de la entrada como la salida por carretera o *reach stacker*, de una UTI a las terminales ferro-portuarias.
- El cálculo del tiempo entre la entrada al recinto portuario y a la terminal ferro-portuaria, y viceversa, orientado al tráfico continental.

Este servicio cubre los procesos asociados al transporte de mercancías por ferrocarril para las UTI contenedor, caja móvil o semirremolque en el PBA, así como la gestión y la trazabilidad sobre las UTI que acceden o salen del recinto portuario a través del ferrocarril.

Servicio de Información (SI)

Su objetivo fundamental es el de ofrecer a los actores de la comunidad logístico-portuaria que participan en la cadena logística de movimiento de mercancías, incluidos importador y exportador, un portal de consulta tanto del estado físico como documental de la mercancía, las UTI y los medios de transporte de una forma clara, ordenada y regulada, restringiendo cierta información a los actores no autorizados. A través de este servicio se puede obtener toda la trazabilidad física y documental de la carga a lo largo de toda la cadena logística portuaria.

Este servicio permite obtener información estadística y de trazabilidad de transacciones, buques, escalas, UTI y declaraciones aduaneras, disponible para los siguientes tipos de movimiento en cualquier medio de transporte que utilicen (buque, camión, ferrocarril o una combinación de varios de ellos):

- Pasaje.
- Carga contenerizada.
- Carga rodada.
- Carga a granel.

Como se puede comprobar, el nuevo PCS del PBA (Teleport 2.0) soportará todos los servicios englobados en la cadena logística y los pondrá a disposición de toda la comunidad logística portuaria.

Debido a que algunos de estos SVA han sido muy demandados de forma urgente por la comunidad logístico portuaria, la APBA ha decidido incluso adelantar su implementación, surgiendo una versión intermedia denominada Teleport 1.5. Los Servicios que han sido desarrollados en esta plataforma intermedia entre Teleport 1.0 y Teleport 2.0 han sido:

- Servicio de Control al Pasaje – Intercambiabilidad de billetes.
- Servicio de Listas de Carga y Descarga de Contenedores.
- Servicio de Relación por Medio de Transportes

El objetivo principal que la APBA busca con Teleport 2.0 es la eficiencia y excelencia operativa y aumentar la calidad de servicio al cliente.

A nivel de eficiencia operativa, el PBA destaca por su fiabilidad, eficiencia y ubicación geoestratégica, y es uno de los principales centros de operaciones para mega-buques (buques portacontenedores con una capacidad mínima de carga de 16.000 TEUs o superior) del Mediterráneo, y ha invertido en infraestructuras portuarias para atender las exigencias de las nuevas generaciones de mega-buques de más de 23.000 TEUs.



Figura 7. Puerto de Algeciras – Uno de los principales Centro de Operación para Megabuques del Mediterráneo.

Fotografía de la llegada al Puerto de Algeciras del buque HMM Hamburg (Julio 2021).

En el año 2020, 147 mega-buques operaron en el PBA, buques con una longitud de unos 400 metros de longitud (equivalente a cuatro estadios de fútbol), con un precio de 180 millones de dólares y una capacidad entre 18.000 y 24.000 TEUs. Para la operación de este tipo de buques, es esencial una coordinación perfecta entre todos los agentes involucrados en sus cadenas logísticas, trabajando de forma sincronizada para hacer posible un flujo eficiente y sostenible. Es decir, un modelo *Just-in-Time*, eliminando los tiempos de espera, maximizando el tránsito de la mercancía y minimizando las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Y en ello juega un papel fundamental el PCS.

Una vez en funcionamiento, Teleport 2.0 permitirá dicho reto, tal y como se puede observar en el ejemplo de exportación de un contenedor expuesto en la figura 8, y que se detalla a continuación:

A través del Servicio Unificado de Mercancías por Carretera (SUMC), el operador logístico podrá crear la petición de embarque del contenedor en un buque portacontenedores. El *container operator* podrá llevar a cabo la creación de la denominada Orden de Transporte Unificada (OTU), es decir, creación del entréguese de contenedor vacío al *depot* correspondiente, la creación de admítase del contenedor lleno

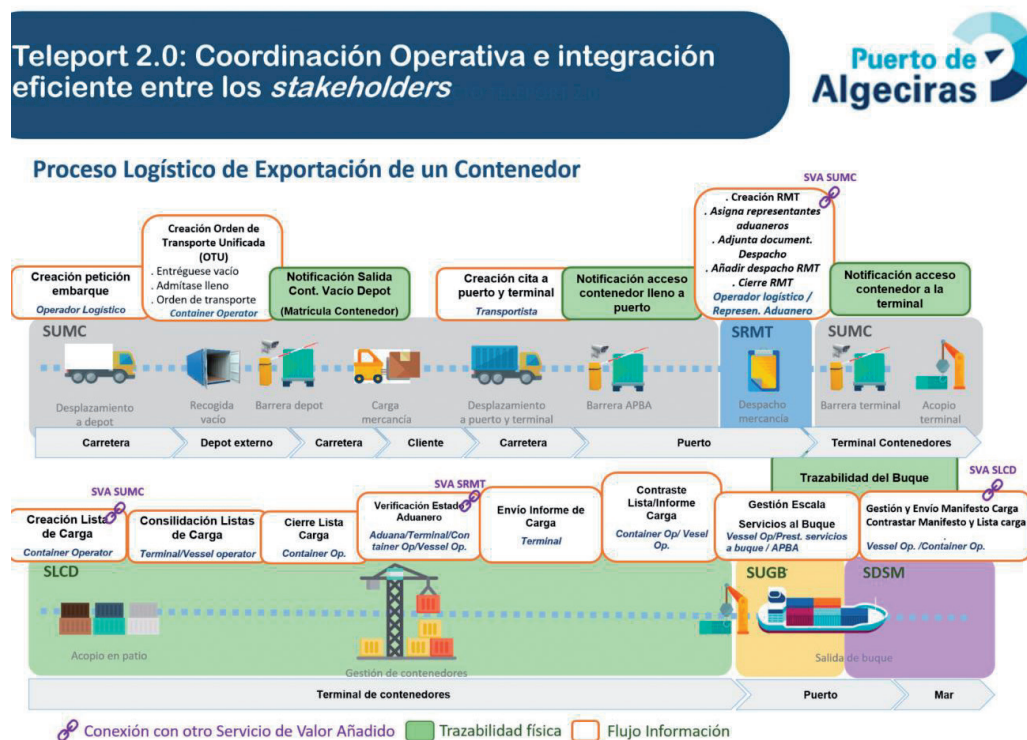
a la terminal de contenedores donde va a ser cargado dicho contenedor, y la orden de transporte asociada al transporte de dicho contenedor desde el *depot* a la terminal de contenedores.

La integración de Teleport con los distintos sistemas de los agentes del ecosistema portuario permitirá no solo disponer de la trazabilidad documental sino también la trazabilidad física del contenedor. Es por ello que, cuando el contenedor vacío salga del *depot* para ser cargado en un almacén, se obtendrá en el PCS el evento de salida del contenedor de dicho *depot*, así como el registro de la identificación o matrícula del contenedor que será un dato transversal para todo el proceso logístico de exportación.

A través del PCS, la empresa de transporte podrá crear la cita de acceso al recinto portuario, así como la cita o *appointment* a la terminal de contenedores. A través de este evento, se obtendrá una previsión de llegada de dicho contenedor al recinto portuario, así como a la terminal de contenedores.

Una vez que el contenedor lleno acceda al PBA, se obtendrá la trazabilidad física de entrada de dicho contenedor al puerto, y el operador logístico y los agentes de aduana, podrán iniciar los trámites de despacho aduanero de dicho contenedor ante Aduana,

Figura 8. Ejemplo Proceso Logístico de Exportación de un Contenedor en Teleport 2.0. A través de los distintos SVA de la plataforma se obtiene una coordinación operativa e intercambio eficiente de flujo de información entre todos los stakeholders de la cadena logística portuaria, así como trazabilidad física end-to-end.



creándose la relación por medio de transportes asociada a dicho contenedor. Es decir, en el PCS, a través del Servicio por Medio de Transporte (SRMT) se dispondrá de una carpeta virtual con toda la documentación aduanera asociada a dicho contenedor, informando del estado aduanero de los mismos (a través de integración del PCS con el servicio web de Trazabilidad de Declaraciones Aduanera de la AEAT), información que podrá ser visible en tiempo real por todos los agentes involucrados en el proceso de exportación de dicho contenedor, principalmente la terminal de contenedores que, como Almacén de Depósito Temporal (ADT), es responsable de que la mercancía disponga del levante aduanero antes de ser cargado en el buque portacontenedores.

A continuación, el contenedor accederá a la terminal de contenedores, obteniéndose en el PCS dicho evento de tracking.

Seguidamente, a través del Servicio de Lista de Carga y Descarga (SLCD), el *container operator* podrá enviar la lista de carga a la terminal que contenga dicho contenedor, la terminal o el *vessel operator* podrá llevar a cabo la consolidación de las distintas listas de carga notificadas en el PCS para generar la lista de carga definitiva de los contenedores, única lista que será integrada en el TOS (*Terminal Operating System*) de la terminal para llevar a cabo las operaciones de

carga del buque. A través de dicho servicio, gracias a la sinergia con el Servicio de Relación por Medio de Transporte (SRMT) tanto los *container operators*, *vessel operators* como la terminal de contenedores podrán visualizar en tiempo real el estado de despacho de los contenedores.

Una vez finalizadas las operaciones de carga, la terminal de contenedores notificará al PCS el informe de carga con el listado final de los contenedores cargados, por lo que todos los agentes podrán comprobar la carga efectiva de dicho contenedor. Los *container operators* y el *vessel operator* también podrán visualizar el contraste entre la lista de carga y el informe, obteniendo qué contenedores finalmente han sido cargados en el buque.

A través del Servicio Unificado de Gestión de Buques (SUGB), el consignatario podrá solicitar la escala, así como solicitar todos los servicios que requiera el buque portacontenedores mientras realiza las operaciones de descarga y carga de las unidades correspondientes en la terminal marítima.

Por último, a través del PCS, y reutilizando toda la información cargada en la plataforma asociada a todo el proceso logístico de exportación de este contenedor, podrá generar de forma eficiente el manifiesto de carga.



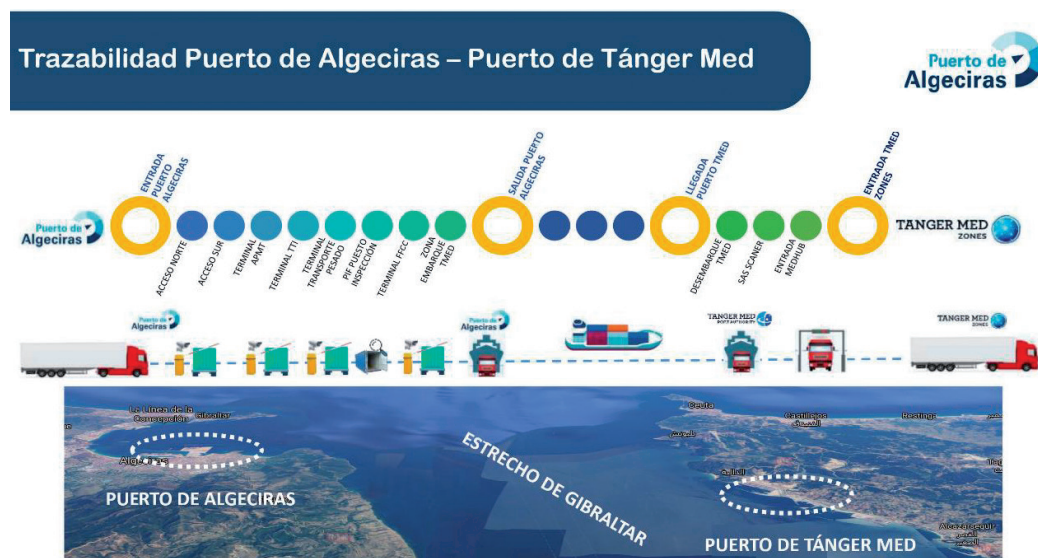
Figura 9. Teleport 2.0 - Implementación de Servicios de Valor Añadido o Módulos de Negocio intercambiando información entre ellos a través de la infraestructura tecnológica del PCS.

Es importante resaltar que la integración entre el PCS y el PMS permite disponer en tiempo real de toda la trazabilidad del buque, poniendo también dicha información a disposición de todos los agentes.

Como se puede observar en este ejemplo descrito, a través de los distintos SVA implementados en el PCS, y debido al intercambio de información entre dichos módulos de negocio, se obtiene la integración entre todos los agentes y sistemas involucrados, que, compartiendo información, pueden gestionar operaciones de forma integral, facilitando una coordinación eficiente entre ellos y obteniendo así una integración “sin costuras” a lo largo de la cadena logística.

Al igual que para el tráfico de contenedores (tal y como se ha expuesto en los párrafos anteriores), además de establecer un modelo operativo eficiente a través del PCS para el tráfico Ro-Ro, el PBA está abordando el reto de disponer de una trazabilidad *end-to-end* para ponerla a disposición de los agentes involucrados en las cadenas logísticas del tráfico rodado y sobre todo del cliente final. Para ello el PBA está trabajando en la integración entre PCSs de otros puertos, en concreto con el PCS del Puerto de Tánger MED, ofreciendo así la trazabilidad de la mercancía a lo largo de las dos orillas del Estrecho de Gibraltar, lo que se denomina el Puente Marítimo Tánger MED-Algeciras.

Figura 10. Integración entre el PCS del Puerto de Algeciras y el Puerto de Tánger MED para ofrecer a los clientes la trazabilidad end-to-end del Puente Marítimo del Estrecho.



Otro de los objetivos principales que busca el PBA con su nuevo PCS, es el aumento de la calidad de servicio a sus clientes, y, para ello, es esencial que éstos vean el puerto como facilitador del tránsito de su mercancía y como una fuente de información en tiempo real y mejora de predictibilidad, con el objetivo de que puedan saber en todo momento la trazabilidad de su carga.

En relación al tráfico Ro-Ro, destacar que el PBA es el primer puerto español en tráfico de camiones industriales y la puerta del comercio exterior entre Europa y África. Más de 340.000 camiones cruzaron el estrecho en la ruta Tánger-Algeciras en el año 2020, y se prevé que esta cifra llegue a los 600.000 camiones en 2026.

5. CONCLUSIÓN Y PUNTOS CLAVES

Para finalizar este artículo y con el objetivo de destacar los aspectos más relevantes, a continuación se detallan una serie de conclusiones y puntos claves a tener en cuenta:

- El principal reto al que se enfrenta un puerto en la actualidad, es estar integrado *end-to-end* en las cadenas logísticas globales y establecer una coordinación eficiente entre todos los agentes del ecosistema portuario, tanto a nivel operativo como de flujo de información, con el objetivo de conseguir una mayor eficiencia, sostenibilidad y visibilidad en tiempo real.

- La propuesta de valor de la APBA es ofrecer unas infraestructuras y calidad de servicio excelente en una ubicación geoestratégica excepcional como es el Estrecho de Gibraltar. Para alcanzar el objetivo de ofrecer una calidad de servicio excelente, la APBA establece la Transformación Digital y la Innovación como sus pilares fundamentales de su Estrategia de Negocio.
- La APBA define como “calidad de servicio excelente” el disponer de una conectividad logística avanzada, completitud de servicios, eficiencia, fiabilidad y sostenibilidad.
- Para maximizar su propuesta de valor, la APBA considera fundamental avanzar en un rol más proactivo de orquestador o coordinador de las operaciones que tienen lugar en el ecosistema portuario, y para ello está implementando una Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones, herramienta clave que se utiliza en el Centro de Coordinación de Procesos del PBA.
- La Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones es una plataforma de plataformas, que proporciona información al Centro de Coordinación de la APBA en tiempo real de todos los eventos físicos y documentales que ocurren en el puerto, realiza predicción de todos estos eventos, siendo capaz de sugerir o recomendar acciones basadas en Inteligencia Artificial para aumentar la eficiencia del puerto y de la cadena logística a nivel global.
- El PBA tiene un ecosistema digital avanzado, completamente integrado en el negocio, con conectividad de última generación y plataformas digitales de colaboración logística para hacer realidad el concepto de Puerto de Última Generación, es decir un puerto sincromodal, inteligente y sostenible.
- La APBA considera que uno de los sistemas más estratégicos de esta Plataforma Digital de Orquestación de Operaciones es el *Port Community System*, instrumento clave para la digitalización, integración y coordinación eficiente entre todos los *stakeholders* de la comunidad logística-portuaria.
- La APBA está abordando la evolución de su PCS en el sentido más amplio. Una evolución tecnológica de la plataforma (utilizando las tendencias más avanzadas del mercado), una evolución a nivel de funcionalidades logísticas-portuarias

(el PCS contemplará todos los servicios necesarios para soportar todos los procesos operativos asociados a las cadenas logísticas portuarias), y la definición de un óptimo modelo de gestión y operación. Todo ello con un principal objetivo: crear valor a la comunidad logística portuaria en su conjunto a través de una plataforma que aporte mayor fiabilidad, más eficiencia y una total transparencia y trazabilidad de los pasajeros y la mercancía a lo largo de toda la cadena logística portuaria.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Francisco de los Santos Ramos, Jefe del Área de Desarrollo Tecnológico del Puerto Bahía de Algeciras, por ser el impulsor de toda la estrategia de transformación digital y de innovación de nuestro puerto, situándolo en un referente a nivel mundial. Y sobre todo por inculcarnos al resto de áreas de la APBA la cultura de innovación continua.

Igualmente, agradecer a Óscar Pernía por contar conmigo para participar en este Encuentro.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Geodis (2017).** “Supply Chain Worldwide Survey”. geodis.com. https://geodis.com/fr/sites/default/files/2019-03/170509_GEODIS_WHITE-PAPER.PDF
- BPI Network, Navis, Xvela (2017).** “Competitive Gain in the Ocean Supply Chain”. bpinetwork.org.<http://www.bpinetwork.org/competitive-gain-ocean-supply-chain-infographic>
- World Bank, IHS Markit (2021).** “The Container Port Performance Index 2020 Report”. ihsmarket.com. <https://ihsmarket.com/Info/0521/container-port-performance-index-2020.html>

8. NOTAS

1. International Port Community Systems Association (<http://ipcsa.international/>)

EL INTERNET FÍSICO Y SU INFLUENCIA EN LOS PUERTOS

Manuel Martínez de Ubago Álvarez de Sotomayor
*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MSc Ingeniero de Caminos, MSc Transporte, Infraestructuras y Logística.
Project Manager, STC-NESTRA.*

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

2. INTERNET FÍSICO

- 2.1 Primeros pasos del Internet Físico
- 2.2 Entrada del Internet Físico en el plano académico
- 2.3 Iniciativas del Internet Físico en la actualidad

3. EL PAPEL DE LOS PUERTOS

- 3.1 Los Puertos en el Internet Físico
- 3.2 *Smart Ports*

4. PORT COMMUNITY SYSTEMS DEL PUERTO BAHÍA DE ALGECIRAS

5. CONCLUSIONES

6. AGRADECIMIENTOS

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. NOTAS



MANUEL MARTINEZ DE UBAGO ALVAREZ DE SOTOMAYOR

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
MSc Ingeniero de Caminos, MSc Transporte, Infraestructuras y Logística.
Project Manager, STC-NESTRA.*

Manuel cuenta con un Máster en Ingeniería de Caminos por la Universidad de A Coruña. Tras compaginar sus últimos años de estudios trabajando para MCValnera, empresa líder en consultoría portuaria en España, decidió profundizar sus estudios en transporte marítimo y logística.

Así, la concesión de una beca de la Fundación Barrie de la Maza, institución que invierte en jóvenes talentos para que se formen en las principales universidades del mundo, le permitió Manuel realizar una segunda maestría en Transporte, Infraestructura y Logística en TU Delft, en los Países Bajos. Se graduó Cum Laude con una tesis en cooperación con la Autoridad Portuaria de Róterdam sobre el futuro de los puertos bajo el Internet Físico, un tema reciente en el campo del transporte y la logística. Actualmente se está revisando dicho trabajo para su publicación.

En la actualidad se desempeña como consultor en STC-NESTRA ("Grupo de expertos holandeses para transporte y logística sostenibles"), del Grupo STC, en Róterdam. Con una perspectiva internacional, se centra en el amplio campo del transporte sostenible, con un interés particular en la innovación y digitalización portuaria.

RESUMEN

La visión del Internet Físico (Physical Internet en inglés, o PI) podría suponer un cambio profundo en las dinámicas del transporte y la logística, afectando el papel que juegan los diferentes actores involucrados en los sistemas de transporte. Por ello, dado el peso de los puertos en el comercio global, el presente trabajo reflexiona en torno al concepto del PI y su influencia en los puertos.

Para ello, se analiza el estado del arte del Internet Físico, buscando sus características o componentes principales según la literatura. Del mismo modo, se presentan las iniciativas, principalmente académicas, que están aportando al volumen de conocimiento de un concepto todavía en fase temprana.

En base a lo anterior, se elabora acerca de la influencia que el Internet Físico podría tener para los puertos, en base a la literatura. Dado el contexto actual de disrupción tecnológica generalizada en varias industrias, incluyendo el sector portuario, se expone brevemente el concepto de los Puertos Inteligentes, siendo un primer punto de exploración para futuros esfuerzos de investigación conjunta de estas disciplinas.

PALABRAS CLAVE

Internet Físico, sistemas de transporte, puertos inteligentes.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del siglo pasado, particularmente con la llegada del contenedor en los años 60, los puertos marítimos han evolucionado hasta convertirse en pilares fundamentales de economías locales y nacionales (Brooks et al., 2014). Los puertos se han posicionado como importantes nodos dentro de los sistemas de transporte actuales. En tales sistemas, cada parte interesada cuenta con su propio objetivo y toma su propia decisión, estando entrelazado con otros mediante diferentes interacciones e inter dependencias (Crainic et al., 2018). Este ecosistema, compuesto por multitud de actores tomando continuamente sus propias decisiones, los cuales a su vez se ven influenciados por una dinámica de demanda en constante cambio, se puede considerar significativamente complejo (Halim et al., 2012).

En la Ilustración 1 se puede ver, de manera holística, el alcance de los sistemas de transporte de mercancía (*freight transport systems* en inglés) actuales, en los cuales los puertos juegan un papel importante. Elaborado por Tavasszy (2006), el modelo distingue cinco capas o “mercados”, los cuales están interrelacionados: Producción/consumo; comercio (compra y venta);

ubicación de inventario; servicios de transporte; y rutas. Como se puede apreciar, las capas superiores se refieren al equilibrio espacial entre oferta y demanda de bienes, mientras que las capas inferiores representan las redes de transporte, en la cual los diferentes modos (tráfico rodado, ferrocarril, aéreo, marítimo, ...) realizan sus actividades de transporte.

En las dinámicas actuales del transporte y la logística, empresas generalmente han buscado optimizar sus propias redes logísticas con sus propios recursos, como almacenes o vehículos (capas 3 y 4). Sin embargo, deben compartir la misma infraestructura en la red de transporte (capa 5).

Hay amplia literatura sobre las ineficiencias que se producen en lo que aquí se ha identificado como capas 3 y 4 (para una revisión literaria, ver SteadieSeifi et al., 2014). La problemática también puede estar fundamentada en la propia naturaleza de las infraestructuras. Pese a funcionar como esqueleto de unas dinámicas de comercio en constante cambio, una importante parte de la infraestructura actual fue pensada y diseñada en su momento para una economía industrial, la cual se encuentra en proceso de transformación hacia una economía del servicio (Negenborn, 2010).

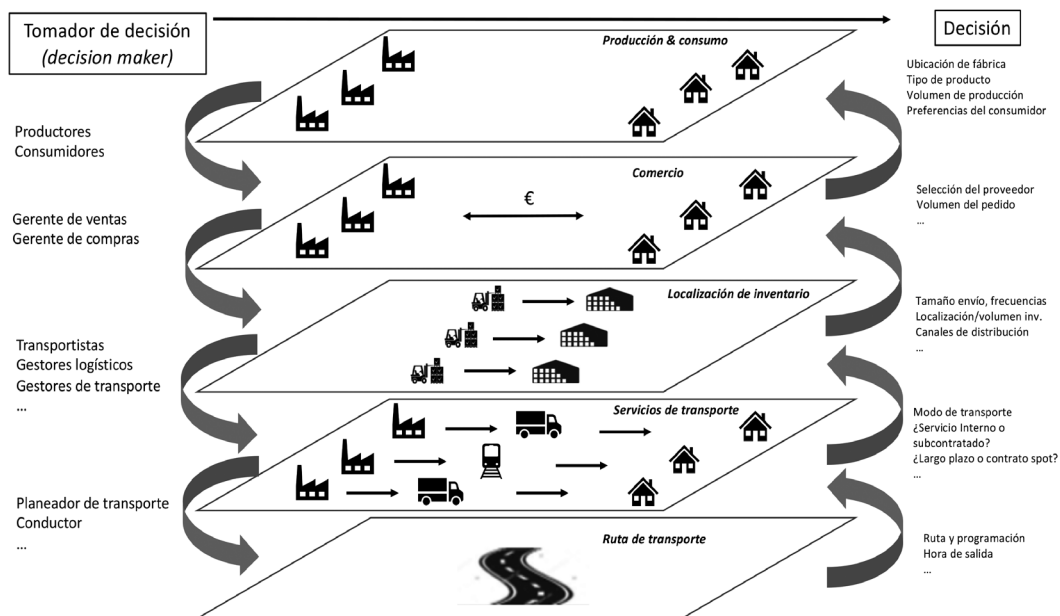


Figura 1. Modelo conceptual de los sistemas de transporte tradicionales.

Fuente: Adaptado y traducido por el autor, artículo original de Tavasszy (2006).

Todo lo anterior no es diferente para las actividades relacionadas con la operativa portuaria. A modo de ejemplo, la escala portuaria implica una gran cantidad de procesos y actores interactuando y comunicándose en breves periodos de tiempo (Lind et al., 2016). La amplia casuística de eventos inesperados puede dar lugar a un proceso de escala ineficiente. La reacción de los actores puede llevar, entre otros, a un comportamiento de *“hurry and wait”* (acelerar y esperar) del buque en dirección a un puerto para escalar. Tal situación resulta en una quema innecesaria de combustible por parte del buque, y por lo tanto de emisiones de efecto invernadero. Teniendo en cuenta que procesos sub-óptimos como el anterior, influenciados por varios factores impredecibles, pueden ocurrir a diario en los cerca de 9.000 puertos del mundo¹, el espacio para la mejora es significativa desde un punto de vista de sostenibilidad.

Por otro lado, los puertos se han visto desafiados por disrupciones de variada naturaleza, afectando la resiliencia de las funciones portuarias esenciales, y por ende del resto del sistema de transporte. Algunas fuentes llevan tiempo siendo documentadas, como por ejemplo eventos extremos asociados al cambio climático (UNCTAD, 2020a). Otros más recientes, como la COVID-19 o el reciente bloqueo del Canal de Suez, han puesto en jaque la operativa de los puertos y las cadenas logísticas.

Del mismo modo, los puertos se han visto en los últimos años presionados por un entorno cada vez más competitivo (Lagoudis et al., 2017). Estando en varios casos limitados espacialmente, la expansión de capacidad puede dejar de ser una alternativa sostenible.

Ante la problemática aquí descrita, puede ser común, en la agenda portuaria, preguntarse lo siguiente: *“¿Qué líneas de actuación pueden adoptar los puertos, como elementos clave de los sistemas de transporte, para incrementar su sostenibilidad y resiliencia en un entorno competitivo?”*

La respuesta puede estar parcialmente en la llegada de las tecnologías de la información y las comunicaciones (ICT en inglés). Su creciente acceso y versatilidad han ido proporcionando, de manera exponencial, un uso más *“inteligente”* de los activos y recursos en los sistemas de transporte, incluyendo a los puertos. Volviendo a la ilustración anteriormente expuesta, casos de uso se han ido implementando en las diferentes capas, incluyendo en los propios puertos. Desde las soluciones comunes como los Sistemas de Operación de Terminales (TOS en inglés), servicios de gestión del tráfico (VTS en inglés), Sistemas de Comunidad Portuaria (PCS), hasta sistemas de sensores para monitorizar la salud estructural de la infraestructura.

Sin embargo, tales iniciativas suelen ser implementadas desde una perspectiva aislada y en silos por cada compañía o pequeño consorcio, según el caso. El Internet Físico (*Physical Internet* en inglés, o PI) busca ir un paso más allá, no sólo en el plano tecnológico, sino con un enfoque colaborativo de los sistemas de transporte. Presentándose como una visión para optimizar todas las capas arriba mostradas de manera holística, el Internet Físico intenta romper el modelo propietario tradicional, convirtiéndose en una alternativa al famoso “*winner takes all*” (Ballot, 2019). Dicho de otro modo, se busca con este concepto abordar el ‘bosque completo, y no un árbol únicamente’.

La complejidad y el cambio de paradigma que supondría una visión como el Internet Físico podría afectar a los actores involucrados en la cadena de transporte. Teniendo en cuenta que alrededor del 80% del comercio de mercancías mundial es transportado por mar (UNCTAD, 2020b), es necesario explorar las implicaciones que conceptos como el Internet Físico podrían tener sobre los puertos marítimos.

El resto del artículo se divide de la siguiente manera. La Sección 2 expone la principal literatura alrededor del Internet Físico. La Sección 3 elabora sobre las interacciones del Internet Físico y el campo portuario, según la literatura, y elabora sobre otras disciplinas relacionadas. La Sección 4 concluye reflexionando sobre posibles líneas de investigación futuras.

2. INTERNET FÍSICO

En esta Sección se presenta un análisis no exhaustivo del concepto del Internet Físico. Para dar mayor perspectiva a la visión, las siguientes secciones elaboran su evolución conceptual desde un punto de vista cronológico, desde sus inicios hasta las iniciativas más recientes.

2.1. Primeros pasos del Internet Físico

Mencionado por primera vez en Junio de 2006 en la portada de *El Economista*², el Internet Físico no recibió atención hasta la aparición del “manifiesto”, en 2009. El autor, y principal impulsor del PI (pronunciado en inglés como la letra del alfabeto griego, π), describió un concepto novedoso que busca “transformar radicalmente la manera en la que los objetos físicos se mueven, almacenan, suministran o usan” (Montreuil, 2009).

La *raison d’être* del manifiesto se fundamentaba en la necesidad de abordar las importantes ineficiencias de los sistemas logísticos y de transporte. B. Montreuil (2011) expuso un total de trece “síntomas” relacionados con prácticas logísticas existentes, tal y como se expone en la Tabla 1.

Tales síntomas pueden dar lugar a problemas económicos, medioambientales o sociales, los cuales,

Tabla 1. Los síntomas de insostenibilidad logística.

Fuente: Traducido por el autor, artículo original de B. Montreuil (2011).

Síntomas de ineficiencia e insostenibilidad	Económico	Medioambiental	Social
Estamos enviando aire y embalaje	•	•	
Viajes sin mercancía son la norma y no la excepción	•	•	
Los camioneros se han convertido en los cowboys modernos	•		•
Los productos están generalmente inactivos, almacenados cuando no se necesitan, y sin embargo no están disponibles cuando se necesitan	•		•
Las instalaciones de producción y almacenaje reciben un uso deficiente	•	•	•
Muchos productos no llegan a venderse o usarse	•	•	•
Los productos no llegan a aquellos que más lo necesitan	•		
Los productos se mueven de manera innecesaria,	•	•	•
Transporte multimodal rápido y fiable es un sueño.	•	•	•
Mover productos o hacia o desde las ciudades es una pesadilla.	•	•	•
Las redes logísticas o de cadena de suministro no son ni seguras ni robustas.	•		•
La automatización inteligente y la tecnología son difíciles de justificar	•		•
La innovación está estrangulada	•	•	•

según el autor, tenían que ser abordados para evitar “golpearlos con la pared”. Contra esta alusión a la insostenibilidad de las prácticas globales de transporte, llamado el “Gran Desafío de Sostenibilidad Logística”, el Internet Físico se presentó como una llamada a la acción para el mundo académico, industrial y gubernamental.

De esta llamada surgió un pequeño grupo de investigadores de diferentes universidades, el cual crecería con el tiempo en diferentes regiones. La figura 2 recoge las componentes fundamentales del del PI el cual se definió como un “sistema logístico abierto y global fundamentado en interconectividad física, digital y operacional a través de encapsulación, interfaces y protocolos” (Montreuil et al., 2012).

En otras palabras, el PI busca que el transporte de bienes se organice de una manera similar a la que los paquetes de datos fluyen en el Internet Digital. Estos paquetes de datos son encapsulados y enviados automáticamente a través de diferentes *routers* hasta llegar a su destino (por ejemplo la bandeja de entrada de una dirección e-mail). Siguiendo esta analogía, los bienes y objetos se podrían encapsular en contenedores modulares y ser enviados a través de una red de nodos “abiertos” hacia su destino final. Mediante el intercambio de recursos como terminales, vehículos, equipamiento o datos, y el diseño de interfaces y protocolos para una interoperabilidad integrada, el transporte de bienes se optimizaría con respecto a costes, rapidez, eficiencia y sostenibilidad.

En palabras del autor, el Internet Físico es un “sistema en constante evolución, empujado por innovación tecnológica, infraestructural y empresarial” y que puede mejorar “por un orden de magnitud sustancial” la manera en la que los objetos se mueven, almacenan, suministran o usan alrededor del mundo.

2.2. Entrada del Internet Físico en el plano académico

El primer estudio de simulación, basado en el flujo de distribución por dos grandes minoristas de alimentos y sus 100 proveedores en Francia, mostraron resultados prometedores para el PI. El ahorro de costes figuró entre el 4% y el 26%, y se triplicó la reducción de emisión de gases de efecto invernadero a través de un uso más eficiente del transporte rodado (Ballot et al., 2012a).

Varios artículos siguieron incrementando los conocimientos de conocimiento alrededor del Internet Físico. Algunas publicaciones se centraron en el diseño, desde un punto de vista conceptual, de nodos o *hubs* en la era del Internet Físico (Meller et al., 2012, Ballot et al., 2012b, Montreuil et al., 2013). Montreuil et al. (2012b) y Colin et al. (2016) intentaron adaptar al contexto del Internet Físico la estructura en capas por el cual los protocolos del Internet Digital funcionan. Sarraj et al. (2014) trabajó en las analogías entre los *hubs* del Internet Físico y el Internet Digital.

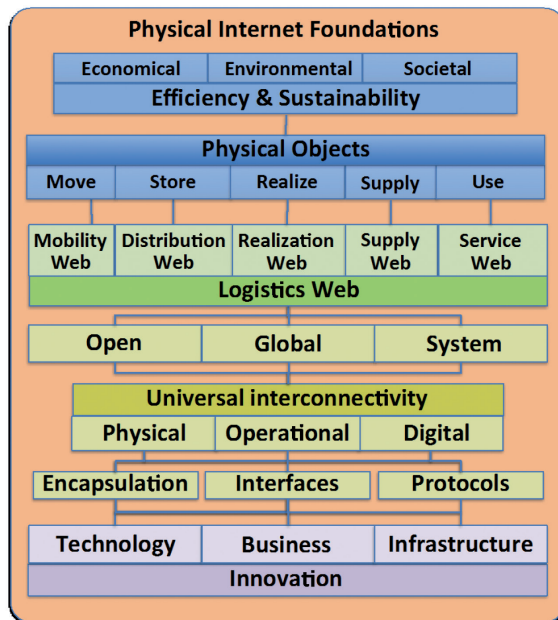


Figura 2. Cimentaciones del Internet Físico.

Fuente: Montreuil et al. (2012a).

Pese a estas publicaciones, quedaban varias barreras por abarcar, como el diseño de modelos de negocio o nuevos marcos regulatorios que facilitasen un sistema logístico abierto y colaborativo como concibe el Internet Físico (Montreuil et al., 2012c). Marcos conceptuales y modelos de negocio siguieron expandiendo los cimientos del Internet Físico (Oktaei et al., 2014, Rouges & Monteriu, 2014, o Crainic & Montreuil, 2016). Siguiendo los pasos de Ballot et al. (2012), modelos matemáticos y simulaciones surgieron como metodologías de investigación dentro del campo del Internet Físico (Lin et al., 2014, Pan et al., 2015, Sallez et al., 2015, Krommenacker et al., 2016, Venkaradri et al., 2016). También los estudios sistemáticos de la literatura se hicieron necesarios para sintetizar el creciente campo de conocimiento alrededor del Internet Físico. Destacan en este ámbito los trabajos de Treiblmaier et al. (2016), Sternberg & Normman (2017), o Pan et al. (2017).

2.3. Iniciativas del Internet Físico en la actualidad

Algunos académicos consideraron al Internet Físico en una fase “piloto” desde un punto de vista conceptual, con un número relativamente pequeño de artículos académicos y pocas implementaciones prácticas (Domanski et al., 2018).

Con el objetivo de continuar con los esfuerzos de creación de conocimiento y diseminación, varias iniciativas surgieron en diferentes regiones. Hasta ahora, un total de ocho ediciones del *International Physical Internet Conference* (IPIC), habiéndose celebrado la última en 2021 en formato online.

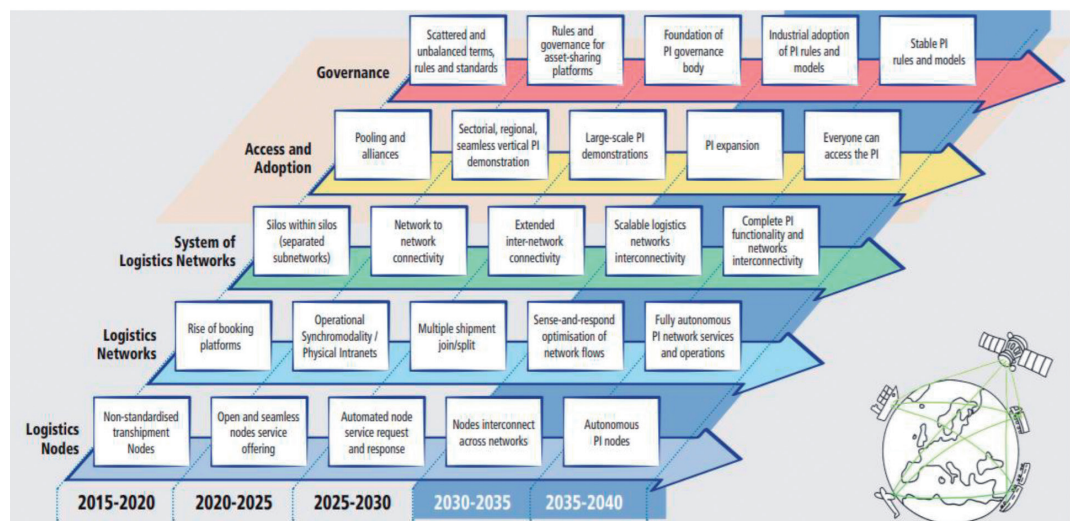
En Estados Unidos, la Universidad Tecnológica de Georgia creó el *Physical Internet Center*, un centro de investigación enfocado en la aplicación del Internet Físico a la industria del transporte y la logística. Cuenta con la colaboración de diferentes entidades públicas y privadas. Una de ellas es ALICE (*Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe*), una iniciativa que reúne actores públicos y privados en el continente Europeo. A lo largo de los últimos años, se han ido realizando talleres para alcanzar consenso alrededor de la visión del Internet Físico.

Sirviendo como soporte de programas como *Horizon 2020* u *Horizon Europe*, la comunidad de ALICE creó una hoja de ruta hacia un “logística sin emisiones”, fundamentado en un “sistema global y abierto de sistemas que permitan que los activos y recursos en la red logística estén interconectados, facilitando que se maximice su uso y productividad, incrementando al mismo tiempo la agilidad y resiliencia de las cadenas logísticas”. Dado el imperativo medioambiental de la Unión Europea, plasmado en el Green Deal, el Internet Físico ha recibido mayor fuerza en el continente.

En este sentido, los expertos de ALICE han estado trabajando en los últimos años en lo que se denominan áreas de interés dentro del Internet Físico, y en la manera en que podrían evolucionar en diferentes etapas (*PI Generations*). La figura 3 muestra la evolución cronológica de tales áreas de interés, considerando 2040 como fecha de llegada del Internet Físico en Europa (ALICE-ETP, 2020).

Figura 3. Hoja de ruta hacia el Internet Físico, dividido en pilares o áreas de interés y sus correspondientes etapas de evolución (PI Generations).

Fuente: Proyecto SENSE, ALICE-ETP, 2020.



ÁREA DE INTERÉS	ELEMENTOS CLAVE
Nodos Logísticos	<ul style="list-style-type: none"> · Evolución de nodos logísticos a nodos del Internet Físico (PI Nodes), en el cual las operaciones están estandarizadas y se hace un uso extensivo de unidades modulares e interoperables de carga, desde contenedores marítimos hasta pequeñas cajas o π-boxes. · Los servicios en los PI nodes son visibles y digitalmente accesibles y usables incluyendo planeamiento, reserva de capacidad o ejecución de operaciones.
Redes Logísticas	<ul style="list-style-type: none"> · Incluye los nodos logísticos así como los servicios de transporte conectando tales nodos. · Las redes logísticas bajo el Internet Físico (PI Networks) ofrecerían servicios de puerta a puerta integrados, flexibles y resilientes, (des-)consolidando todos los envíos dentro de una red logística en la que todos los activos, capacidades y recursos son completamente visibles, accesibles y usables para hacer un uso lo más eficiente posible de la red en su conjunto.
Sistema de Redes Logísticas	<ul style="list-style-type: none"> · Las redes logísticas individuales están interconectadas. Por lo tanto, los activos, servicios y recursos de las redes individuales logísticas pueden ser accesibles por cualquier usuario de redes logísticas. · El Sistema de Redes Logísticas forma el esqueleto del Internet Físico y requiere servicios escalable, seguro y eficiente para el flujo financiero, de bienes, y de información a lo largo de las redes logísticas.
Acceso y adopción	<ul style="list-style-type: none"> · Acceso al Internet Físico para cualquier actor involucrado en los sistemas de transporte. · Mentalidad adaptada al cambio para que se acepten y adopten los conceptos del Internet Físico.
Gobernanza	<ul style="list-style-type: none"> · Se refiere a las reglas definidas por todos los actores involucrados para evolucionar los Nodos Logísticos, Las Redes Logísticas y el Sistema de Redes Logísticas en el Internet Físico. · Sistema de gobernanza puede venir de pequeñas iniciativas que escalan a las redes logísticas (bottom-up approach), o desde órganos centrales públicos o privados, los cuales establecen las reglas del juego (top-down approach).

Tabla 2. Elementos clave de las áreas de interés de la hoja de ruta hacia el Internet Físico.

Fuente: Traducido por el autor, artículo original de ALICE-ETP (2020).

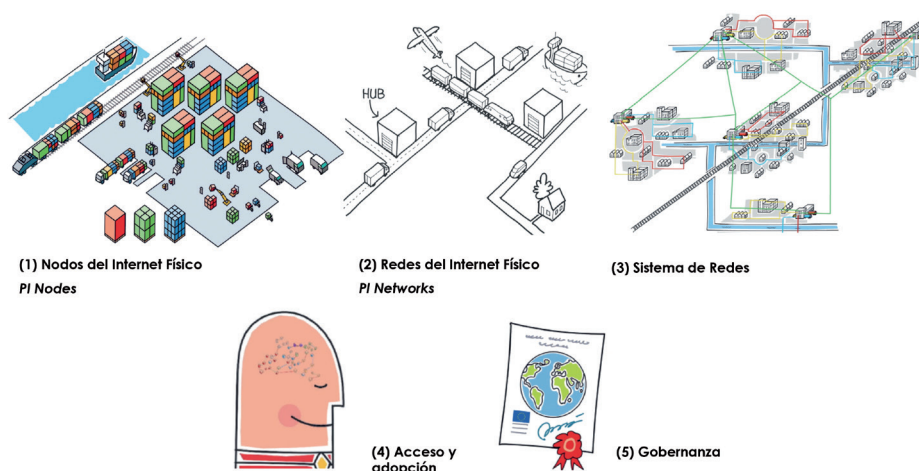


Figura 4. Ilustración de las áreas de interés de la hoja de ruta hacia el Internet Físico.

Fuente: Elaborado y traducido por el autor, artículo original de ALICE-ETP (2020).

Sin entrar en detalle, los elementos clave de cada área de interés, las cuales han resultado de varios talleres realizados en los últimos años entre un grupo multidisciplinar de expertos del sector académico e industrial, se resumen e ilustran en la tabla 2 y figura 4.

3. EL PAPEL DE LOS PUERTOS

Al contrario que el Internet Físico, existe amplia literatura en el campo de los puertos marítimos. Disparidades institucionales, administrativas u organizativas suponen

un obstáculo a la hora de conceptualizar los puertos de manera genérica e integral (Bichou & Gray, 2005). De hecho, se puede considerar, tal y como apunta Beresford et al. (2004), que “todos los puertos son, hasta cierto punto, únicos”, así como complejos de por sí.

Por ello, no es objetivo del presente trabajo hacer un análisis exhaustivo de toda la actual literatura que concierna a los puertos. Lo que se busca es dar cierta orientación a aquellos dominios que puedan interactuar con el Internet Físico. La Sección 3.1 presenta los esfuerzos académicos de juntar el las temáticas del *PI* y los puertos.

Del mismo modo, la Sección 3.2 elabora sobre el dominio de los Puertos Inteligentes, el cual podrían presentar similitudes con del Internet Físico.

3.1 Los Puertos en el Internet Físico

Según el saber y entender del autor del presente artículo, los trabajos relacionando el Internet Físico con los puertos son todavía escasos y enfocados únicamente al entorno académico.

En Aroca & Pruñonosa (2018), trabajando en la analogía entre los nodos o *hubs* del Internet Digital y el Internet Físico, los autores trataron de conceptualizar, desde una perspectiva operacional, el papel de los puertos marítimos como nodos del Internet Físico hiper conectados entre sí (“*hyperconnected PI hubs*”). Hiper conectividad es un término popularizado dentro de la comunidad del Internet Físico, el cual se refiere al mayor nivel de conectividad (física, digital, legal, ...) dentro de la red. Siguiendo una malla multicapa de nodos de acceso o locales (*access/local hubs*) hasta nodos globales (*global hubs*), estos se podrían componer de los grandes puertos, actuando como “interfaz entre comercio regional y global”.

El proyecto de investigación “hacia los puertos virtuales en un Internet Físico”, promovido en Países Bajos por el *Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek* (NWO) y el *Dutch Institute for Advanced Logistics* (TKI Dinalog), ha supuesto un aporte importante al aún escaso campo de conocimiento alrededor de los llamados *PI ports* (o nueva generación de puertos en la era del Internet Físico). Durante los 5 años de duración del proyecto (2016-2021), los trabajos han abarcado diferentes niveles de abstracción. En Fahim et al. (2019a) elaboraron, a través de un estudio Delphi, escenarios sobre el futuro de los puertos bajo la influencia del Internet Físico. Los autores de Fahim et al. (2019b) estudiaron la selección de puerto (*port choice*), dentro del ecosistema PI. Desde Van Luik et al. (2020) criticaron la rigidez de la analogía Internet Digital/Internet Físico, la cual puede dar lugar a errores de diseño de una red colaborativa e interconectada de transporte. Los autores de Fahim et al. (2021) diseñaron un modelo de Arquitectura de Información que incorpora habilidades de trazabilidad (*track-and-trace*) en los *PI ports*, la cual permitiría una comunicación interoperable entre las plataformas de los diferentes actores de la cadena logística.

Dichos proyectos académicos han contado con la colaboración de entes como la Autoridad Portuaria de Róterdam. El organismo regulador del puerto lleva años jugando un papel proactivo en la generación de conocimiento e innovación dentro del clúster marítimo y portuario de Róterdam. La iniciativa *SmartPort*, una plataforma neutral de generación y diseminación de conocimiento, incluyendo los estudios alrededor del Internet Físico, o la aceleradora marítimo portuaria *PortXL*, son algunos de los ejemplos del amplio clúster de conocimiento de Róterdam (Rotterdam Maritime Capital of Europe, 2020).

Para la generación de escenarios, en Fahim et al. (2019a) se llevó a cabo uno de los primeros intentos de conceptualizar la evolución de los puertos hacia los llamados *PI Ports*. Como punto de partida, se llevaron a cabo entrevistas con lo que los autores consideraron expertos del Internet Físico, así como una revisión de la literatura de este campo y de la disciplina portuaria. Tres amplias dimensiones del Internet Físico (*PI Dimensiones*) fueron definidas:

- Dimensión de *Gobernanza*, refiriéndose a las reglas y protocolos para una red y entorno colaborativo, seguro y fiable en el Internet Físico.
- Dimensión *Operacional*, refiriéndose a la manera en el que las operaciones físicas de transporte se ejecutan, así como la manera en la que los diferentes elementos de la red de transporte (contenedores, almacenes, vehículos, equipos de manipulación) se conectan, entendiendo conectividad en sentido físico.
- Dimensión *Digital*, refiriéndose a la interconectividad digital entre los diferentes actores de la red logística. Esto permite la comunicación, intercambio de información y la toma de decisiones inteligentes para un sistema de redes logísticas óptimo.

Partiendo de estas dimensiones, se construyó un modelo inspirado y adaptado en su momento por la hoja de ruta que estaba desarrollándose en el proyecto SENSE de ALICE, así como del llamado Modelo de Madurez Digital propuesto por la AP Róterdam (PoR, 2018), o de la literatura de desarrollo portuario (Lee & Lam, 2016). Las tres *dimensiones* evolucionaban en niveles, los cuales influenciarían a su vez la evolución de otra dimensión, llamada “conectividad portuaria” (figura 5). Es decir, solo salta al siguiente nivel una vez lo han hecho las 3 dimensiones.

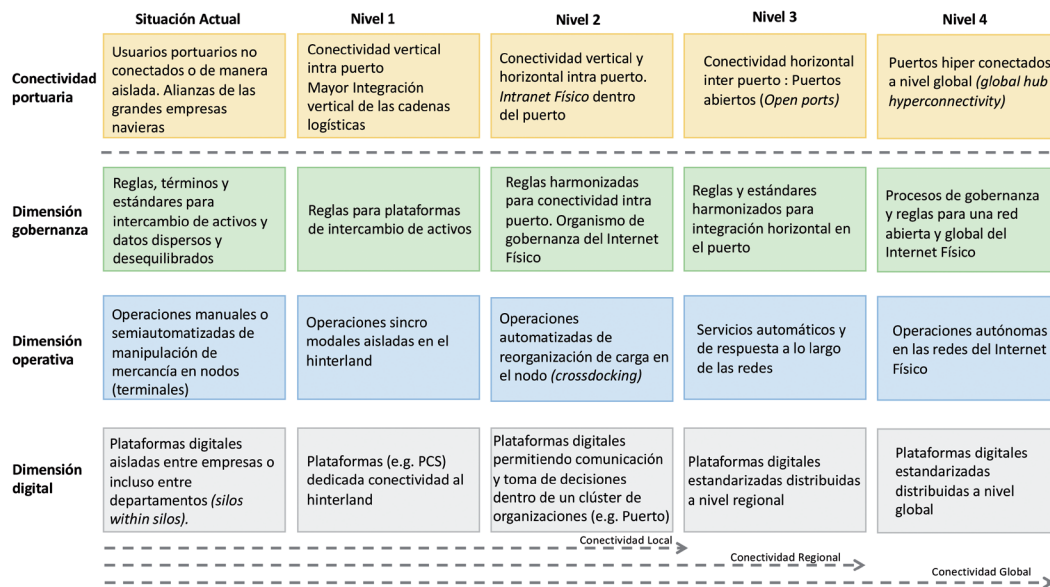


Figura 5. Evolución del puerto bajo la influencia del Internet Físico.

Fuente: Traducido y adaptado del autor, artículo original de Fahim et al. (2019a).

Según el modelo, la Situación Actual está marcada por plataformas digitales aisladas, procesos generalmente manuales en las operaciones, o reglas reactivas que dificultan la creación de modelos basados en la confianza mutua entre organizaciones. Esto da lugar a una situación generalizada de falta de conectividad entre los usuarios portuarios.

Siguiendo una lógica similar, la conectividad portuaria evolucionaría con el tiempo a los siguientes niveles, primero en el Nivel 1 y luego en el Nivel 2. En este segundo, el puerto se podría considerar como un *Intranet Físico*, en el que todo el ecosistema existente dentro del mismo se conecta por plataformas digitales, procesos y operaciones automatizadas, así como por reglas armonizadas y supeditadas por un organismo de gobernanza del Internet Físico. Tal conectividad local evoluciona en el Nivel 3 a una conectividad regional, yendo más allá del área de un puerto y considerando otros dentro de una misma región geográfica. Un ejemplo de Internet Físico regional podría ser la franja *Hamburg – Le Havre* de Centro Europa. Finalmente, el Nivel 4 representaría la etapa final del modelo conceptual del *PI Port*, donde se alcanza la hiper conectividad global desde una perspectiva marítimo portuaria.

Con este modelo evolutivo, se intenta romper la idea errónea, ya identificada en Treiblmaier et al. (2016), de que existe un “estado binario en el que el Internet Físico existe o no”. Más bien, las dimensiones del Internet Físico, y por lo tanto de conectividad portuaria, evolucionan como si de una escalera se tratase.

Sin embargo, existen carencias en el marco conceptual arriba expuesto que deberían ser abarcadas en futuros trabajos de investigación. Por un lado, se intenta conceptualizar la evolución de un puerto. Sin embargo, tal y como ya se ha mencionado, cada puerto es único, y por ello podrían evolucionar en diferentes ritmos o incluso en diferentes órdenes con respecto a las celdas arriba marcadas. Por otro lado, las 3 dimensiones, elaboradas de manera pragmática para poder continuar con los siguientes pasos de la investigación, podrían haber supuesto una simplificación excesiva a todo lo que rodea el concepto del Internet Físico. Del mismo modo, el marco refleja una evolución escalonada y discreta, parecido los primeros intentos de conceptualizar los puertos en categorías o *port generations* por parte de Naciones Unidas (UNCTAD, 1992). Este enfoque discreto y no continuo ha sido objeto de críticas en la comunidad (Beresford et al., 2004, Bichou and Gray, 2005, Verhoeven, 2010).

3.2 Smart Ports

El concepto del Puerto Inteligente (*Smart Port*), o Puerto 4.0, ha ido ganando terreno en las agendas portuarias en los últimos años. En Heilig et al. (2017) realizaron un análisis extensivo y cronológico de la transformación digital que se ha ido llevando a cabo en los puertos. Desde los primeros esfuerzos en los años 80 de transformación de procesos electrónicos mediante el desarrollo de sistemas de intercambio de datos electrónicos (*Electronic Data Interchange, EDI*), hasta lo que consideraron procesos “inteligentes”.

Otras contribuciones se han centrado en aquellas tecnologías, (*IoT, Machine Learning, Cloud Computing*) que pueden dar lugar a procesos inteligentes en el entorno portuario (Schirmer et al., 2016, Fernández et al., 2016, Belfkih et al., 2017, Ozturk et al., 2018, Rajabi et al., 2018, Yang et al., 2018).

La literatura también se centró en modelos de referencia para comparar el nivel de desarrollo digital portuario entre puertos. Estos recibieron diferentes nombres, desde *Smart Port Index* (Molavi et al., 2019), o *Digital Readiness Index Assessment* (Phillip, 2020). Revisiones de la literatura alrededor de tecnologías emergentes y su aplicación en el campo portuario se realizaron más recientemente (de la Peña Zarzuelo et al 2020, Yau et al., 2020, Gizelis et al., 2020)³.

La pandemia del COVID-19 ha supuesto una disrupción en las cadenas globales de transporte (UNCTAD, 2020b). Respuestas por parte de los puertos abarcaron varias áreas de actuación, incluyendo operaciones, finanzas, protocolos de seguridad y saneamiento, o reorganización del trabajo.

Otras respuestas incluyeron el uso de nuevas tecnologías para asegurar la continuidad de operaciones, como el uso de relojes inteligentes por los trabajadores en el puerto para asegurar una distancia de seguridad, en línea con los protocolos contra la pandemia (World Bank, 2020). El empujón a la temática de la digitalización portuaria y los puertos inteligentes se vio también reflejada en una proliferación de artículos e informes en estos campos.

Los Bancos Multilaterales de desarrollo de Latinoamérica y Asia publicaron hojas de ruta para asistir a los puertos de sus regiones en sus intentos de convertirse en puertos inteligentes (IDB, 2020, ADB, 2020).

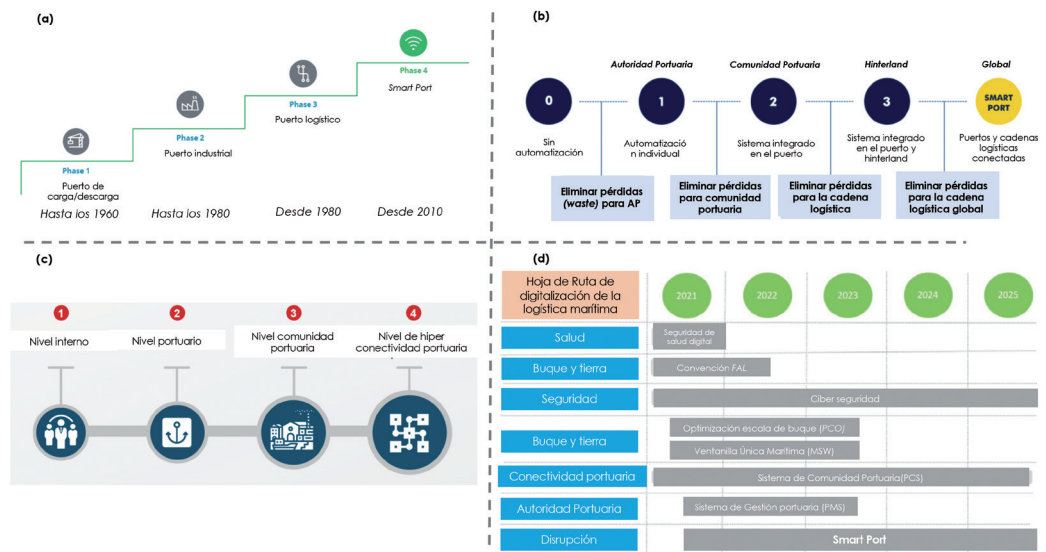
Pese a estos esfuerzos, a día de hoy sigue faltando una definición consensuada de los *Smart Ports*. Esto podría estar en parte fundamentado por las complejidades ya mencionadas en la Sección 3 a la hora de conceptualizar lo que es un puerto en primer lugar. Hay grupos académicos y profesionales que se centran en la aplicación de una o varias tecnologías aplicadas a una actividad particular del puerto. Ejemplos pueden ser la optimización de operaciones en una terminal de contenedores o el monitoreo en tiempo real de la salud estructural de la infraestructura. Otros se enfocan en ámbitos más amplios, en función de sus antecedentes académicos o profesional, así como sus propios intereses.

Del mismo modo, el poder disruptivo de las tecnologías emergentes ha podido dar lugar a unas altas expectativas. Citas como “los puertos inteligentes serán los únicos que sobrevivirán” (Deloitte, 2017), o los diferentes webinaris celebrados alrededor de los *Smart Ports* durante la pandemia, muchos de ellos con fines comerciales y de *marketing*, dan una idea del panorama que se ha ido formando con el tiempo.

De todas maneras, tal y como se recoge en la figura 6, parece haber cierto consenso alrededor de un enfoque evolutivo a la hora de conceptualizar los puertos inteligentes, desde silos internos hasta una (hiper) conectividad global.

Figura 6. Marcos conceptuales de los Smart Ports.

Fuente: Traducido y adaptado del autor, artículos originales (a) Deloitte, 2017; (b) Autoridad Portuaria de Róterdam (2019), (c) IDB, 2020; (d) World Bank, 2020.



4. CONCLUSIONES

En base a las secciones elaboradas anteriormente, varios elementos se discuten en esta última sección. En primer lugar, cabe recordar que el Internet Físico surgió como visión a una problemática logística global. Poco a poco se ha ido abriendo hueco en el entorno portuario, de por sí complejo y con diferentes niveles de abstracción. La amplia laguna de investigación alrededor del Internet Físico enfocada al entorno portuario puede estar fundamentada a su vez por una falta de fundamentos sólidos del propio concepto del Internet Físico. Del mismo modo, hay que tener en cuenta que cualquier innovación “radical”, es decir, que rompe el *status quo* de un régimen socio-tecnológico establecido, en este caso el sistema de transporte global, puede verse influenciado por fuerzas externas a lo largo de su transición desde nicho hasta establecerse como nuevo régimen (Geels, 2002). Estos elementos pueden ser de carácter social, cultural, político, o legal, y por ello moldear una idea tan potencialmente disruptiva como el Internet Físico. Esto debería tenerse en cuenta de cara a futuros esfuerzos de conceptualizar el Internet Físico dentro del entorno portuario.

En segundo lugar, el autor no es consciente de trabajos que hayan relacionado la disciplina del Internet Físico con el de los *Smart Ports*, al menos de manera directa. Se podría argumentar con cierto grado de confianza, que ambas temáticas surgieron de manera aislada, y buscando un mismo fin. Es decir, mayor eficiencia, sostenibilidad y resiliencia en la manera en la que los objetos se mueven, ya sea por toda la cadena de transporte, o dentro del área portuaria. En cuanto a los medios, ambas disciplinas parecen solaparse, hablando de mismos elementos, como por ejemplo, la aplicación de tecnologías emergentes para mejorar procesos en el entorno portuario y dar valor añadido a la comunidad portuaria y la cadena logística en general. La mayor diferencia identificada sería el cambio radical que proponen algunos grupos de expertos dentro del Internet Físico, usando una nueva generación de contenedores modulares o *PI containers*, como si se tratasen de piezas de lego, de nuevo siguiendo la analogía del Internet Digital.

Tal y como se ha mencionado, la laguna de investigación es todavía grande y quedan muchas preguntas por resolver. ¿Podría existir alguna jerarquía o dependencia entre los campos aquí descritos? ¿Están los principios y futuras líneas de investigación del Internet Físico alineados con el de los *Smart Ports*? ¿Sería un *PI Port* un *Smart Port*, y viceversa? Preguntas como las

aquí enunciadas podrían suponer un primer paso de cara a futuros esfuerzos colaborativos de investigación.

Del mismo modo, este artículo ha dejado de lado una disciplina conocida como la Informática Marítima (*Maritime Informatics*), la cual busca también la eficiencia, seguridad, sostenibilidad ecológica, y resiliencia del sector marítimo. Futuros esfuerzos de investigación podrían enfocarse en estudiar las similitudes de todos estos campos, pudiendo reunir una mayor masa crítica de investigación, y por ende dando lugar a mayores sinergias de cara a una visión común.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Jose Ramón Ruiz (Puerto de Santander) y Oscar Pernia (Next-Port) por la oportunidad de poder participar en un foro de expertos tan volcados en los puertos del futuro. El intercambio de ideas y diseminación de conocimiento supondrá un pilar fundamental en los esfuerzos de digitalización de los puertos.

Del mismo modo, agradecer a STC-NESTRA, así como a toda la familia del STC Group de Róterdam, por el apoyo mostrado de cara a participar en tal evento.

Y por último, el autor agradece a sus antiguos supervisores Patrick Fahim, Lori Tavasszy, Arjan Van Binsbergen, Jafar Rezaei, de la Universidad de TU Delft, así como Michiel Nijdam, de la Autoridad Portuaria de Róterdam, los cuales le ayudaron en su investigación en un campo tan complicado como el Internet Físico.

6. REFERENCIAS

- ALICE-ETP** (2020). *Roadmap to the Physical Internet*. Disponible en: <http://www.etp-logistics.eu/alice-physical-internet-roadmap-released/>
- Aroca, J., & Pruñonosa, S.** (2018). *Analogies across hubs and routers in the physical and digital internet*.
- Asian Development Bank** (2020). *Smart Ports in the Pacific*. Disponible en: <https://www.adb.org/publications/smart-ports-pacific>
- Ballot, E., Gobet, O., & Montreuil, B.** (2012a). *Physical internet enabled open hub network design for distributed networked operations. In Service orientation in holonic and multi-agent manufacturing control (pp. 279–292)*. Springer.

- Ballot, E., Montreuil, B., & Thivierge, C. (2012b). *Functional design of physical internet facilities: a road-rail hub*.
- Ballot. (2019). *Operations, logistics and supply chain management: Definitions and objectives*. In *Operations, logistics and supply chain management* (p. 733). Springer.
- Belfkih, A., Duvallet, C., & Sadeg, B. (2017). *The Internet of Things for smart ports: Application to the port of Le Havre*. In *International Conference on Intelligent Platform for Smart Port (IPaSPort 2017)*.
- Beresford, A. K. C., Gardner, B. M., Pettit, S. J., Naniopoulos, A., & Wooldridge, C. F. (2004). *The unctad and workport models of port development: evolution or revolution?* *Maritime Policy & Management*, 31(2), 93–107.
- Bichou, K., & Gray, R. (2005). *A critical review of conventional terminology for classifying seaports*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(1), 75–92.
- Brooks, M., T. Pallis, & Perkins, S. (2014). *Port Investment and Container Shipping Markets: Roundtable Summary and Conclusions*, *International Transport Forum Discussion Papers*, No. 2014/03, OECD Publishing, Paris
- Colin, J.-Y., Mathieu, H., & Nakechbandi, M. (2016). *A proposal for an open logistics interconnection reference model for a physical internet*. In *Logistics operations management (gol)*, 2016 3rd international conference on (pp. 1–6).
- Crainic, T. G., & Montreuil, B. (2016). *Physical internet enabled Hyperconnected City logistics*. *Transportation Research Procedia*, 12, 383–398.
- de la Peña Zarzuelo, I., Soeane, M. J. F., & Bermúdez, B. L. (2020). *Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review*. *Journal of Industrial Information Integration*, 100173.
- Deloitte (2017). *Smart Ports – Point of view*. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/energy-resources/deloitte-nl-er-port-services-smart-ports.pdf>
- Domanski, R., Adamczak, M., & Cyplik, P. (2018). *Physical internet (pi): a systematic literature review*. *LogForum*, 14(1).
- Fahim, P., Martinez de Ubago, M., Rezaei, J., Tavasszy, L. (2019a). *Future Development Paths of Ports in the Physical Internet*. working paper.
- Fahim, P., Rezaei, J., Tavasszy, L., Montreuil, B. (2019b). *Port Selection in the Physical Internet*. working paper.
- Fahim, P. B., An, R., Rezaei, J., Pang, Y., Montreuil, B., & Tavasszy, L. (2021). *An information architecture to enable track-and-trace capability in Physical Internet ports*. *Computers in Industry*, 129, 103443.
- Fernández, P., Santana, J. M., Ortega, S., Trujillo, A., Suárez, J. P., Domínguez, C., ... & Sánchez, A. (2016). *SmartPort: A platform for sensor data monitoring in a seaport based on FIWARE*. *Sensors*, 16(3), 417.
- Geels, F. W. (2002). *Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multilevel perspective and a case-study*. *Research policy*, 31(8-9), 1257–1274.
- Gizelis, C. A., Mavroeidakos, T., Marinakis, A., Litke, A., & Moulos, V. (2020, June). *Towards a Smart Port: The Role of the Telecom Industry*. In *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations* (pp. 128–139). Springer, Cham.
- Halim, R. A., Tavasszy, L. A., & Seck, M. D. (2012). *Modeling the global freight transportation system: A multi-level modeling perspective*. In *Proceedings of the winter simulation conference* (p. 285).
- Inter-American Development Bank (2020). *Smart Ports Manual. Strategy and Roadmap*. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/smart-ports-manual-strategy-and-roadmap#:~:text=The%20Smart%20Port%20Manual%20is,practice%20for%20implementing%20smart%20ports>.
- Krommenacker, N., Charpentier, P., Berger, T., & Sallez, Y. (2016). *On the usage of wireless sensor networks to facilitate composition/decomposition of physical internet containers*. In *Service orientation in holonic and multi-agent manufacturing* (pp. 81–90). Springer.
- Lagoudis, I. N., Theotokas, I., & Broumas, D. (2017). *A literature review of port competition research*. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 9(6), 724–762.
- Lee, & Lam, J. S. L. (2016). *Developing the fifth generation ports model*. In *Dynamic shipping and port development in the globalized economy* (pp. 186–210). Springer.
- Lin, Y.-H., Meller, R. D., Ellis, K. P., Thomas, L. M., & Lombardi, B. J. (2014). *A decomposition-based approach for the selection of standardized modular containers*. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4660–4672.
- Lind, M., Haraldson, S., Karlsson, M., & Watson, R. T. (2016). *Overcoming the inability to predict a PortCDM future*. In *10th International Harbor Masters' Association Congress—Global Port & Marine Operations (Superar la incapacidad de predecir - un futuro de PortCDM)*. En el

- 10º Congreso de la Asociación Internacional de Gerentes de Puerto - Operaciones Portuarias y Marinas Globales).
- Michaelides, M., Herodotou, H., Schmitt, P., Karlsson, M., Kyriakides, I., Hayes, D., & Fu, X.** MARITIME INFORMATICS TECHNOLOGY. Disponible en: <https://maritimeinformatics.org/wp-content/uploads/2020/10/Maritime-Informatics-Technology.pdf>
- Montreuil** (2009). *The physical internet manifesto*.
- Montreuil, B.** (2011). *Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge*. *Logistics Research*, 3(2-3), 71–87.
- Montreuil, B., Meller, R. D., & Ballot, E.** (2012a). *Physical internet foundations*. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(6), 26–30.
- Montreuil, B., Ballot, E., & Fontane, F.** (2012b). *An open logistics interconnection model for the physical internet*. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(6), 327–332.
- Montreuil, B., Rougès, J.-F., Cimon, Y., & Poulin, D.** (2012c). *The physical internet and business-model innovation*. *Technology Innovation Management Review*, 2(6).
- Oktaei, P., Lehoux, N., & Montreuil, B.** (2014). *Designing business models for physical internet transit centers*. In *Proceedings of 1st international physical internet conference, québec city, canada*.
- Ozturk, M., Jaber, M., & Imran, M. A.** (2018). *Energy-aware smart connectivity for IoT networks: Enabling smart ports*. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018.
- Pan, S., Nigrelli, M., Ballot, E., Sarraj, R., & Yang, Y.** (2015). *Perspectives of inventory control-models in the physical internet: A simulation study*. *Computers & Industrial Engineering*, 84, 122–132.
- Pan, S., Ballot, E., Huang, G. Q., & Montreuil, B.** (2017). *Physical internet and interconnected logistics services: research and applications*. *Taylor & Francis*.
- Philipp, R.** (2020). *Digital readiness index assessment towards smart port development*. In *Sustainability Management Forum | NachhaltigkeitsManagementForum (Vol. 28, pp. 49-60)*. Springer Berlin Heidelberg.
- Port of Rotterdam** (2018). *Move Forward: Step by Step towards a Digital Port*. Disponible en: https://connect.portofrotterdam.com/PortForward_Digital_Maturity?utm_source=poronline&utm_medium=website&utm_campaign=DBS2019&UTM_content=WP1
- Rajabi, A., Saryazdi, A. K., Belfkih, A., & Duvallet, C.** (2018, June). *Towards smart port: an application of AIS data*. In *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)* (pp. 1414-1421). IEEE.
- Rotterdam Maritime Capital of Europe** (2020). *Research & Education Map*. Disponible en: https://storage.rotterdammaritimecapital.com/storage/2020/06/04155644/RMCOE_MetroMap-June-2020.pdf
- Rougès, J.-F., & Montreuil, B.** (2014). *Crowdsourcing delivery: New interconnected business-models to reinvent delivery*. In *1st international physical internet conference* (pp. 1–19).
- Sallez, Y., Berger, T., Bonte, T., & Trentesaux, D.** (2015). *Proposition of a hybrid control architecture for the routing in a physical internet cross-docking hub*. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1978–1983.
- Sallez, Y., Pan, S., Montreuil, B., Berger, T., & Ballot, E.** (2016). *On the activeness of intelligent physical internet containers*. *Computers in Industry*, 81, 96–104.
- Sarraj, R., Ballot, E., Pan, S., & Montreuil, B.** (2014). *Analogies between internet network and logistics service networks: challenges involved in the interconnection*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25(6), 1207–1219.
- Schirmer, I., Drews, P., Saxe, S., Baldauf, U., & Tesse, J.** (2016, July). *Extending enterprise architectures for adopting the internet of things—Lessons learned from the smartPORT projects in Hamburg*. In *International Conference on Business Information Systems* (pp. 169-180). Springer, Cham.
- Sternberg, H., & Norrman, A.** (2017). *The physical internet—review, analysis and future research agenda*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(8), 736–762.
- StadieSeifi, M., Dellaert, N. P., Nuijten, W., Van Woensel, T., & Raoufi, R.** (2014). *Multimodal freight transportation planning: A literature review*. *European journal of operational research*, 233(1), 1-15.
- Tavasszy.** (2006). *Freight modelling: an overview of international experiences*.
- Treiblmaier, H., Mirkovski, K., & Lowry, P.** (2016). *Conceptualizing the Physical Internet: literature review, implications and directions for future research*.

- UNCTAD (2020a) *Adaptación al cambio climático de los puertos marítimos en apoyo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d23_es.pdf
- UNCTAD (2020b). *Review of Maritime Transport*. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf
- van Luik, S., Fiebig, T., Fahim, P., de Waard, P., & Tavasszy, L. (2020). *On the value of the Digital Internet/Physical Internet analogy*. *Journal of Supply Chain Management Science*, 1(3-4), 87-103.
- Venkatadri, U., Krishna, K. S., & Ülkü, M. A. (2016). *On physical internet logistics: modeling the impact of consolidation on transportation and inventory costs*. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(4), 1517–1527.
- Verhoeven, P. (2010). *A review of port authority functions: towards a renaissance?* *Maritime Policy & Management*, 37(3), 247–270.
- World Bank (2020). *Accelerating digitalization. Critical actions to strengthen the Resilience of the Maritime Supply Chain*
- Yang, Y., Zhong, M., Yao, H., Yu, F., Fu, X., & Postolache, O. (2018). *Internet of things for smart ports: Technologies and challenges*. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21(1), 34-43.
- Yau, K. L. A., Peng, S., Qadir, J., Low, Y. C., & Ling, M. H. (2020). *Towards smart port infrastructures: enhancing port activities using information and communications technology*. *IEEE Access*, 8, 83387-83404.
- Zheng, Y., Zhao, J., & Shao, G. (2020). *Port city sustainability: a review of its research trends*. *Sustainability*, 12(20), 8355.

NOTAS

- 1 Número de puertos según el International Taskforce Port Call Optimization (ITPCO).
- 2 <https://www.economist.com/special-report/2006/06/17/the-physical-internet>
- 3 Los artículos aquí mencionados, pese a publicarse en 2020, han sido elaborados en época de pre-pandemia.

EL PRESENTE DE LA AUTOMATIZACIÓN EN TERMINALES DE CONTENEDORES

Laura Rodríguez Romo
*Ingeniera Industrial. Máster Ejecutivo en Dirección de Empresas.
Especialista en digitalización. Directora de proyectos. TIL Group.*

1. INTRODUCCIÓN
2. QUÉ ES UN SMART PORT DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA AUTOMATIZACIÓN
3. EL PASADO RECIENTE DE LA AUTOMATIZACIÓN
4. EL FUTURO PRESENTE EN LA AUTOMATIZACIÓN
5. SISTEMAS AUTOMÁTICOS ACTUALES
APLICADOS A LA OPERATIVA DE LADO TIERRA
 - 5.1. Sistema automatizado de puertas o Gate Operating System -GOS-
 - 5.1.1. Gestión de excepciones
 - 5.2. Sistema de cita previa o Vehicle Booking System -VBS-
6. LAS CLAVES: DEFINICIÓN DE PROCESOS, DIGITALIZACIÓN, ESTANDARIZACIÓN
 - 6.1. Definición de procesos
 - 6.2. Digitalización
 - 6.2.1. PCS
 - 6.2.2. TOS y ECS
 - 6.2.3. Robotización y autonomía de máquinas
 - 6.2.4. Machine learning y predicciones
 - 6.3. Estandarización
7. PRINCIPALES BENEFICIOS Y RIESGOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN
 - 7.1. Beneficios
 - 7.2. Riesgos
 - 7.2.1. Social
 - 7.2.2. Ciberseguridad
 - 7.2.3. Implementación
8. CONCLUSIONES
9. AGRADECIMIENTOS
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PRINCIPALES



LAURA RODRÍGUEZ ROMO

*Ingeniera Industrial. Máster Ejecutivo en Dirección de Empresas.
Especialista en digitalización. Directora de proyectos. TIL Group.*

Laura es Especialista en Digitalización y Project Manager de TiL desde septiembre de 2020. Como parte del equipo de Automatización y Digitalización, gestiona el equilibrio entre el alcance funcional y el valor de negocio en las soluciones automatizadas para terminales del grupo, con el foco en la operativa de lado tierra.

Su formación académica incluye Ingeniería Industrial, con honores en la especialidad de Ingeniería de Producto, Máster en Gestión del Diseño y Operaciones y Máster Ejecutivo en Administración de Empresas.

Comenzó su carrera en la empresa Órbita Ingeniería, como ingeniero de proyecto en el diseño e implementación de proyectos de automatización en el sector del automóvil, asociados a la planta de Ford en Valencia.

Durante los últimos ocho años, ha trabajado en la división de Orbita Ports & Terminals en varios roles relacionados con proyectos de ingeniería de automatización en el sector portuario a nivel internacional, incluyendo gestión de proyectos, estrategia de producto, desarrollo comercial y marketing.

RESUMEN

El presente de la automatización es a la vez pasado y futuro. Se extiende hacia el pasado, ya que gran parte de los sistemas automáticos que estamos implementando actualmente en terminales de todo el mundo se basan en el uso de tecnología ya existente y en la experiencia de los últimos treinta años, desde que se construyó la primera terminal automatizada en Rotterdam en 1993. Pero también, desde ya, la automatización es futuro, gracias a múltiples estrategias de implementación de proyectos de innovación - un gran número de ellos en fase inicial, como piloto o prueba de concepto- que implican una mayor visibilidad de los procesos de la terminal.

PALABRAS CLAVE

Automatización · Digitalización · Estandarización · Smart Port.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la pandemia de coronavirus nos hemos dado cuenta de lo relevante que resulta poder operar en remoto, analizar KPIs en tiempo real para monitorizar diferentes parámetros -a nivel de negocio, pero también a nivel de equipos- o ser capaces de trazar dónde está ubicado un contenedor en todo momento. La automatización es la clave para poder llegar a gestionar una terminal de forma mayoritariamente desasistida y en coordinación con el resto de los actores del ecosistema portuario. La base para ello es la digitalización, teniendo como referencia estándares y definiciones comunes que nos permitan integrar entre sí y hacia el exterior el amplio rango de sistemas que componen una terminal.

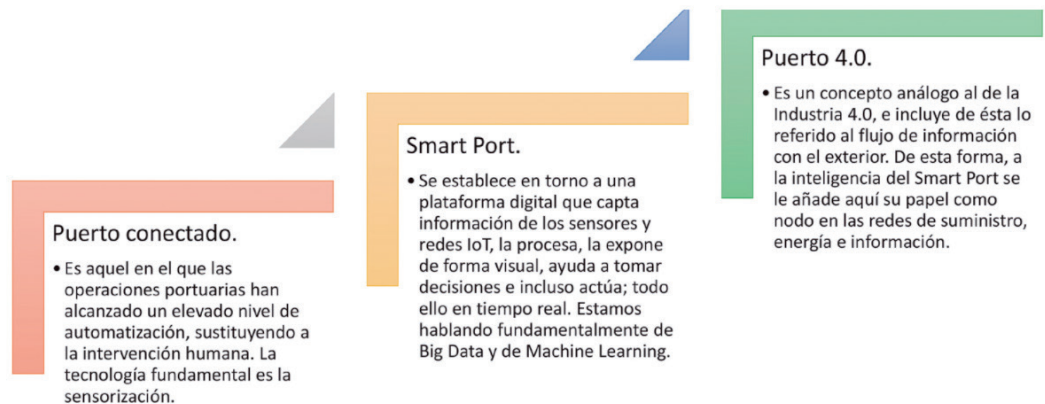
Estamos hablando de la evolución hacia Puertos 4.0.

2. QUÉ ES UN SMART PORT DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA AUTOMATIZACIÓN

La investigación llevada a cabo por el Departamento de Ingeniería Industrial y la Universidad de Arquitectura de Houston (Anahita Molavi, Gino Lim, Bruce Race, 2019) se plantea como objetivo cuantificar qué define a un puerto como Smart Port.

Según su visión, un puerto inteligente debe contener “individuos mejor formados, mano de obra cualificada, infraestructuras inteligentes y automatización para facilitar el desarrollo y el intercambio de conocimientos, optimizar las operaciones portuarias, mejorar la resiliencia del puerto, liderar un desarrollo sostenible y garantizar actividades seguras y protegidas”.

Figura 1. Evolución de puerto conectado a Puerto 4.0 (Rodrigo González, González-Cancelas, Molina Serrano, Camarero Orive, 2020).



Para determinar estas variables, proponen la siguiente clasificación en dominios y subdominios:

- **Operaciones**
 - Productividad
 - Automatización
 - Infraestructura inteligente
- **Medio Ambiente**
 - Sistemas de gestión medioambiental
 - Control de polución y emisiones
 - Gestión de residuos
 - Gestión del agua
- **Energía**
 - Consumo eficiente de energía
 - Producción y uso de energías renovables
 - Gestión de la energía
- **Seguridad**
 - Gestión de la seguridad
 - Sistemas de optimización y monitorización

Dentro del subdominio de operaciones, la productividad se divide en productividad de lado mar, de lado tierra, tamaño y uso de la máxima capacidad, número de escalas, capacidad de recepción de grandes buques y nivel de intermodalidad. Sin embargo, en el apartado de automatización ésta se considera sólo como maquinaria automática y se complementa con el concepto de infraestructura inteligente, que abarca tanto tecnología como sensorización, conectividad y sistemas automáticos.

No perdamos de vista el concepto de Automatización. Según la ISA (International Society of Automation, s.f.): “El diccionario define la automatización como la técnica de hacer que un aparato, un proceso o un sistema opere automáticamente. Nosotros definimos la automatización como la creación y aplicación de tecnología para monitorizar y controlar la producción y entrega de productos y servicios”.

Por tanto, desde el punto de vista de la automatización, entendida como la aplicación de la tecnología a un determinado proceso para que opere de forma automática, un Smart Port se puede considerar como un almacén logístico de contenedores ultra conectado por medio de tecnologías de la información y comunicaciones con tres características fundamentales alineadas con la visión de la industria 4.0 para 2030:

1. Autonomía

- Intra-conectado, a nivel de obtención de datos que permitan una mejor toma de decisiones para la gestión entre diferentes áreas de la terminal -lado tierra, patio y lado mar- y entre terminales.

2. Interoperabilidad

- Conectado con el transporte sincro-modal, siendo capaz de compartir información en tiempo real con diferentes tipos de transporte para poder planificar y gestionar de manera óptima los recursos y los tiempos de espera.



Figura 2. Visión para la industria 4.0.

Fuente: Plattform Industrie 4.0.

- Conectado con los demás actores de la cadena de suministro, de forma que se consiga la visibilidad del proceso y la trazabilidad del contenedor en tiempo real.
- Integrado con otros sistemas a partir de estándares definidos.
- Sistemas descentralizados e inteligencia artificial.

3. Sostenibilidad

- Conectado con el entorno y el medio ambiente, promoviendo la descarbonización y utilizando la adquisición de datos para manejar el control de emisiones en función de la congestión de tráfico terrestre y marítimo.

3. EL PASADO RECIENTE DE LA AUTOMATIZACIÓN

Como ejemplo clásico de automatización podemos tomar el sector del automóvil. Desde 1908 la producción de automóviles en cadena implantada por Henry Ford implica la especialización en cada estación de ensamblaje. Progresivamente, la fabricación en serie exige una mayor integración de sistemas eléctricos, electrónicos, mecánicos y automáticos para conseguir la reducción de plazos y la calidad exigida. En su progresiva incorporación en diversas industrias, la automatización clásica -3.0- pasa por definir un nivel

de campo donde se encuentran los sensores y los actuadores, un nivel de control donde se encuentran los autómatas programables o PLCs, un nivel superior de supervisión (SCADA, MES) y un nivel final de gestión donde se encuentran los sistemas ERP.

En la automatización basada en lazos de control, la medición de la salida del sistema se utiliza para regular la entrada. Se trata de medir, comparar con el valor deseado y actuar para reducir la diferencia.

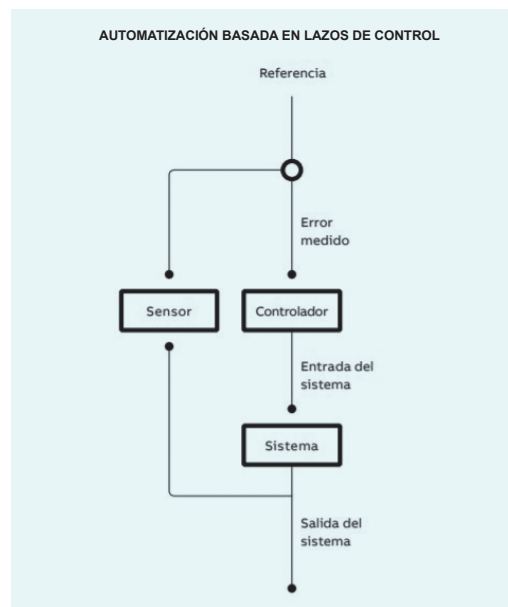


Figura 3. Jerarquía de la automatización en la industria 3.0.

Fuente: Plattform Industrie 4.0.



Figura 4. Automatización basada en lazos de control.

Fuente: Wilhelm Wiese (Wiese, 2019).

En la mayoría de las terminales portuarias, los sistemas automáticos existentes como parte del equipamiento funcionan de manera independiente y desconectada. Así, por ejemplo, la señal de PLC de una RTG que indica si está encendida, apagada, o baja de revoluciones, podría ser utilizada para monitorizar su uso, de forma que no se desperdicie energía si la máquina está encendida sin realizar ningún movimiento. Como solución, los sistemas de software SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition- permiten monitorizar y controlar el proceso de forma automática a distancia por medio de determinadas variables.

Sin embargo, la entrada automática de variables digitales de consumo en un sistema centralizado genera un valor añadido superior con la agregación de datos en tiempo real provenientes de todo el parque de maquinaria. La adquisición de entre 10 y 50 datos por segundo desde 130 máquinas (CHE) – Big Data models-, según el proyecto europeo SeaTerminals (Seaterminals.eu, 2016) en dispositivos conectados a la internet -IoT- marca la diferencia en la toma de decisiones global de una terminal. Para ello no sólo se trata de acumular ingentes cantidades de datos sino de seleccionar aquellos que son relevantes para aplicar las reglas de negocio previamente definidas. El Internet of Things Industrial (IIOT), permite no sólo que las máquinas automatizadas capten y compartan datos, también generan la posibilidad de crear una red de comunicación que haga posible su autogestión o poder habilitar sistemas que monitoricen la trazabilidad del contenedor en todas las áreas de la terminal.

En un gran número de terminales todavía hoy nos encontramos con sistemas aislados entre sí, cerrados por los fabricantes e inaccesibles por parte de estándares abiertos de comunicación. Esto dificulta la intercomunicación y la adición de información en un sistema centralizado que ejerza de única fuente fiable de datos.

4. EL FUTURO PRESENTE EN LA AUTOMATIZACIÓN

Los modelos de automatización actual se centran en la obtención masiva de datos, interpretables en tiempo real y acumulables para recabar históricos y observar tendencias. Estos datos se utilizan, una vez transformados según reglas y definiciones homogéneas, para predecir comportamientos en el modelo que sirvan para una mejora en la toma de decisiones autónomas y por tanto una propuesta de actuación en base a datos estadísticos.

Con la automatización basada en la inteligencia artificial, pasamos de la identificación de señales a la analítica de datos, de los lazos de realimentación a la predicción y de la calibración a los procesos de optimización. Esto supone un cambio de paradigma en la automatización, ya que la capa de control ya no se limita a comparar una variable con su referencia, sino que los inputs pueden ser masivos, con la recepción de cientos o miles de señales en tiempo real.

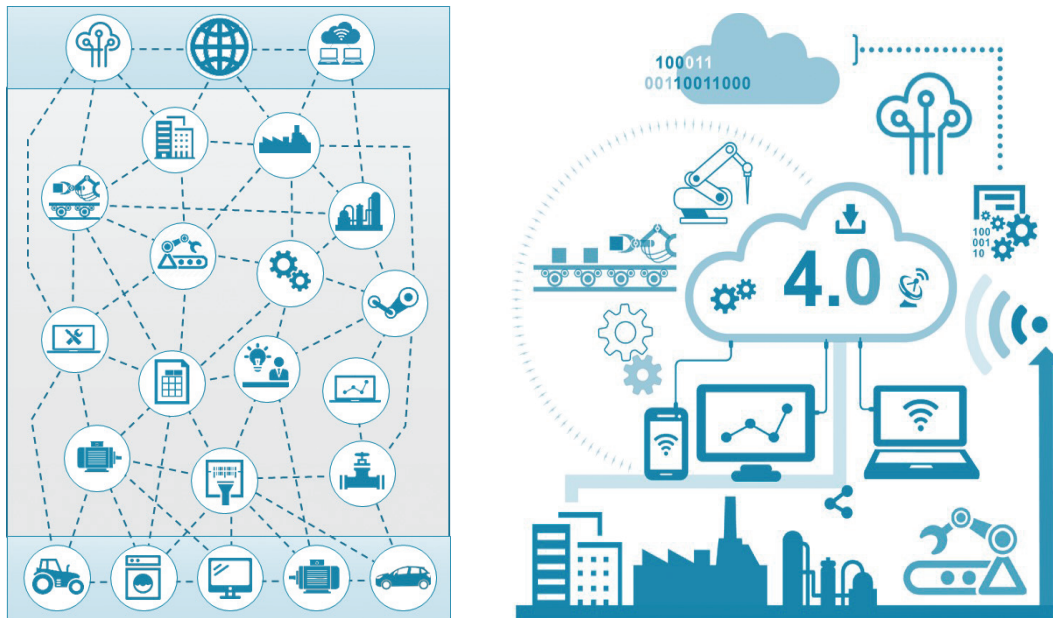
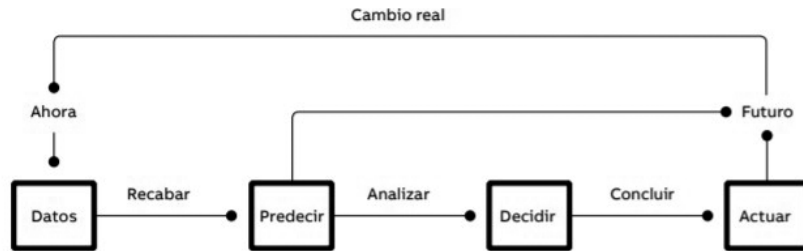


Figura 5. Jerarquía de la automatización en la industria 4.0.

Fuente: Plattform Industrie 4.0

Figura 6. Automatización basada en IA.

Fuente: Wilhelm Wiese (Wiese, 2019).



Dado que los dispositivos en los niveles de campo y de control actualmente no disponen de la potencia computacional ni de la memoria suficiente para poder ejecutar análisis o procesos basados en Inteligencia Artificial, la solución temporal no pasa por una ampliación de hardware sino por un controlador virtual que se ejecuta en un entorno de nube.

Una vez en la nube se pueden desplegar los nuevos niveles de automatización en una sola capa de control autónomo que incluye: datos de ingeniería, es decir parámetros procedentes de dispositivos, datos de funcionamiento, medioambientales y datos de análisis, retroalimentados por los sistemas de calidad y el conocimiento del equipo de operaciones de la terminal. Esta capa no sólo incluye el análisis de datos procedentes del área de operaciones, sino también de mantenimiento y de TI.

Este concepto también cambiará con la llegada de la comunicación inalámbrica 5G, de forma que cada dispositivo y software de control podrá estar directamente conectado con otros dispositivos pertenecientes a otras máquinas y con la nube.

El primer paso, sin embargo, exige una infraestructura que permita la extracción de datos de forma digital, tanto desde el equipamiento como desde el TOS y otros sistemas de terceros que se integran con él.

5. SISTEMAS AUTOMÁTICOS ACTUALES APLICADOS A LA OPERATIVA DE LADO TIERRA

A continuación, se plantea el ejemplo de dos sistemas automáticos que interactúan con el TOS y que automatizan los accesos de lado tierra.

Tanto el GOS o sistema operativo de puertas -Gate Operating System- como el sistema de reserva de vehículos -Vehicle Booking System- permiten automatizar la entrada de tráfico en la terminal, reduciendo

tiempos de espera y recopilando toda la información sin paradas en el acceso.

Es importante contar con que el TOS esté conectado con el PCS o con otras plataformas de entrada de datos para poder disponer de la información relativa a las órdenes de entrega y admisión, contenedores sospechosos o mercancía peligrosa. Pero también información adicional como el destino del contenedor en el patio.

5.1 Sistema automatizado de puertas o Gate Operating System – GOS-

A fin de sustituir los procesos manuales y las órdenes de trabajo en formato físico, a la hora de implantar un sistema automático de puertas se estudia en primer lugar el proceso: cuál es el layout de la zona de entrada, qué volumen de vehículos diarios se esperan para poder calcular el número de carriles y qué etapas se necesita implantar.

El esquema habitual utiliza diversas tecnologías para inspeccionar tres elementos: el contenedor, el vehículo y el conductor. Este esquema consta dos etapas para la adquisición de datos: una primera entrada para la adquisición de datos: una primera entrada con pórticos OCR que reconocen tanto el contenedor como el vehículo y a continuación una segunda etapa con puertas de acceso donde se reconoce de nuevo el vehículo -para trazar el carril de entrada o salida- y un kiosco donde se obtienen los datos del conductor.

Una vez establecido el proceso, se estudia qué tecnologías implantar que cumplan las funcionalidades requeridas. La tecnología OCR o de reconocimiento óptico de caracteres detecta de forma automática el código de contenedor, las etiquetas de mercancía peligrosa, así como el número de matrícula y el número de chasis. Los sensores en este caso son cámaras denominadas line scan, que utilizan un escáner para calcular la velocidad de paso del vehículo mientras toman la imagen de cada uno de los cuatro lados visibles del contenedor conforme éste pasa por un pórtico.

Este tipo de escáneres se utiliza a su vez para inspeccionar el contorno del contenedor en busca de daños previos a la entrada de la terminal. El software permite la configuración de los parámetros de daño.

El conductor se puede identificar por medio de diferentes tecnologías: sensores biométricos, tarjetas RFID, registro de IDs en pantalla táctil o captura de tarjetas de identificación. Una vez se valida el proceso con la información presente en TOS o en el sistema que contiene los datos de registro del conductor, se procede a la apertura de barrera. Existen procedimientos por los que el TOS o el GOS se encargan de validar que el conductor no está en la lista negra de acceso a la terminal. También se utilizan cámaras para que el operador de puertas pueda comprobar la imagen del conductor con la fotografía en su identificación.

A nivel de gestión de accesos, la interfaz de usuario ofrece la monitorización de todos los carriles de entrada y salida, conectando la operativa de puerta con los datos necesarios tanto para IT como para mantenimiento. Se muestran tanto los datos adquiridos de forma automática como las imágenes tomadas en tiempo real, las alarmas de mantenimiento, en caso de que falle la conexión de potencia o de red, y la gestión de excepciones después de contrastar la información con el TOS.

5.1.1. Gestión de excepciones

Como en todos los procesos automáticos el flujo habitual funciona de forma desasistida. Sólo se requiere la acción del operario de puertas cuando se produce un error o una excepción. El tratamiento de errores o excepciones es el punto clave de la automatización, ya que exige tener bien definidos los pasos a llevar a cabo por parte del operador de puertas en cada caso, en sincronización con la sala de control.

Esto implica una codificación de posibles excepciones o errores en el proceso entre TOS y GOS, así como la procedimentación a nivel técnico de los métodos de resolución, decidiendo en qué sistema se imputa o se actualiza el resultado de la corrección para luego sincronizarse.

Para ello se definen diversos roles en los equipos de gestión de excepciones de la terminal.

En el equipo de operadores de puertas puede haber hasta tres roles diferentes con tareas específicas. Este caso se suele dar en terminales que manejan hasta 80

carriles en total en diferentes zonas de acceso a la terminal e incluso dentro de la misma. Por ejemplo, carriles de inspección de vacíos o carriles de tránsito previos a la salida donde se procede a la inspección manual del chasis. Así, se pueden definir:

- Operador de excepciones operativas: aquellos que saben cómo resolver un desacuerdo entre la información real que se obtiene por el sistema de puertas y la información esperada o planificada en el TOS. Estos se encargan de solventar -según las reglas preestablecidas- qué hacer a nivel operativo, por ejemplo, con un contenedor que no se esperaba a esa hora en la terminal.

- Operador de excepciones mecánicas: aquellos que se encargan de identificar daños en el contenedor según las imágenes que pueden observar y clasificar una vez obtenidas por el sistema. Según la configuración, el sistema puede detectar automáticamente que existe un daño mayor que cierto tamaño acordado con la terminal, pero el operario se encarga de clasificarlo en un listado predefinido o añadir cualquier comentario relevante en el sistema.

También se encargan de la inspección del interior del contenedor analizando el resultado de las imágenes obtenidas de forma automática una vez abierta la puerta del contenedor en la zona de inspección de vacíos.

- Operador de seguridad, encargado exclusivamente de identificar al conductor contrastando la tarjeta de identificación que se lee de forma automática con la imagen que se obtiene en tiempo real mediante la cámara instalada en el kiosco de acceso.

Los operadores de excepciones operativas de puertas se comunican con el rol correspondiente al control de procesos operativos de lado tierra de la sala de control, en caso de que éste tenga que proceder a alguna interacción con TOS, con el equipamiento o la gestión -planificación y/o ejecución- de las operaciones de patio.

5.2. Sistema de cita previa o Vehicle Booking System -VBS-

El VBS es un sistema de reserva de cita previa para el acceso a la terminal. De esta forma, las empresas de transporte pueden planificar la visita de cada camión, fomentando de esta manera las dobles transacciones de recepción y entrega.

En el Vehicle Booking System se puede crear la visita asociando un número de contenedores de entrega y de recepción y una franja horaria en la que el vehículo elige acceder. Para esta franja horaria hay un periodo máximo de gracia definido por la terminal, después del cual no es posible la entrada. Además, se registran los casos en los que se efectúa un registro de visita y la carga no llega a puerta, los casos en los que se cancela la visita o aquellos en los que se actualiza por un cambio de camión o de conductor.

El componente diferenciador del VBS es su componente predictiva, con un análisis de datos en conexión con la puerta automática que permite la planificación y la reducción del tiempo de estancia o "truck turn-around times". La previsión del número de visitas, así como de los contenedores de entrega y recepción, influye en la planificación del patio. Así, la actualización de la capacidad del patio está relacionada con los datos proporcionados por el VBS, que permite también relocalizar, seleccionar la mejor posición para la entrega de un contenedor o planificar remociones con el suficiente tiempo de antelación.

Así como los procesos automatizados en puertas son más reconocibles o están más extendidos, el VBS como sistema está menos implementado y tiene una componente de impacto en el modo de operar de la comunidad de transporte. Por este motivo es necesaria la formación en el funcionamiento del sistema tanto por parte de los administradores de las compañías de transporte, responsables de habilitar las reservas, como de los propios conductores. Estos últimos pueden estar autorizados a establecer sus propios tiempos de visita a través de la aplicación móvil de VBS con los permisos y autenticaciones adecuadas y definidas en la infraestructura de ciberseguridad.

Desde la terminal, el rol para la gestión de VBS está dedicado a la planificación y la reacción inmediata a posibles cambios, como apoyo a la comunidad de transporte. Este rol está igualmente en contacto con la sala de control.

A través del VBS se pueden definir flujos paralelos como inspecciones de aduanas con tiempos predefinidos o bien entregas o recepciones directas de mercancía considerada peligrosa, en sincronización con los datos provenientes del PCS o de la propia aduana.

De nuevo, es relevante establecer los requisitos y las necesidades para poder utilizar un producto, estándar en un elevado porcentaje, con las adaptaciones necesarias según la normativa local.

Como beneficios del sistema de reserva de cita, además de la reducción de colas y la descongestión de tráfico en los accesos, lo que repercute en una mejor atención a las compañías de transporte y una agilización del proceso, no es despreciable la parte que afecta a la sostenibilidad. Una entrada escalonada y sin colas repercute en una menor cantidad de emisiones y un ahorro de combustible. Además, el VBS balancea la carga del CHE según la expectativa del tráfico, reduce los retrasos y permite validar los datos del conductor y de la compañía de transporte, simplificando la gestión de la documentación, que queda digitalizada en colaboración con las autoridades portuarias, dando como resultado un proceso de puertas mucho más eficiente para todas las partes implicadas.

Tanto el sistema operativo de puertas como el VBS son sistemas de terceros que se integran con el TOS, digitalizando los accesos y proporcionando registros automáticos de datos que aseguran la trazabilidad del contenedor desde antes de su llegada hasta la salida por puertas de la terminal.

Junto con el equipamiento de la terminal conectado a la red y con otros sistemas (massive Machine Type Communication o mMTC) y la implantación del 5G para una conectividad inalámbrica en un rango más amplio, esta trazabilidad se podrá seguir a lo largo de todas las áreas de la terminal.

6. LAS CLAVES: DEFINICIÓN DE PROCESOS, DIGITALIZACIÓN, ESTANDARIZACIÓN

6.1. Definición de procesos

La parte más compleja y en la que mayor tiempo es necesario invertir a la hora de automatizar es la definición de procesos para diferentes áreas de la terminal. Desde la perspectiva del diseño de un greenfield o terminal completamente nueva semi-automatizada, el planteamiento esencial incluye la generación de un Modelo de Procesos de Negocio (BPM). Es necesario desarrollar los procesos operativos estándar (SOPs), adaptados a los requisitos locales y construir los documentos de especificaciones, diagramas de flujo e interfaz entre sistemas, para que los objetivos funcionales estén reflejados de forma acorde en los documentos técnicos y la integración entre sistemas se produzca sin discontinuidades en la fase de testing. En esta fase, tanto en la parte de simulación en entorno de laboratorio como en las pruebas posteriores in situ, los casos de uso deben reflejar tanto los flujos esperados dentro de la operativa normal como los flujos alternativos en caso de excepciones.

Durante la definición del proceso es importante tener en cuenta el rol de los diferentes equipos que funcionarán en la sala remota de control o en el service desk, para proporcionar una formación estructurada que permita comprender la interrelación entre los sistemas con los que estarán trabajando y cómo deben interactuar con cada uno de los mismos.

En el caso de la automatización de una terminal brownfield, que ya se encuentra en producción, es incluso más importante conocer en detalle cuáles son los procesos operativos actuales para poder aplicar la tecnología correcta que cubra determinadas necesidades. Una de las grandes ventajas de la automatización de procesos es la modularidad de las diferentes soluciones y la flexibilidad en la adaptación de la tecnología al proceso.

6.2. Digitalización

La digitalización es la base de la automatización. Para obtener un sistema totalmente automatizado las entradas han de ser digitales, a fin de lograr que la intervención humana se produzca sólo en caso de excepción.

¿De dónde proceden los datos que se ejecutan a posteriori de manera automatizada?

6.2.1. PCS

Actualmente los datos proporcionados por el Port Community System, que aglutina a los diferentes agentes locales de la comunidad portuaria, son fuente de datos para el Sistema Operativo de la Terminal. Estos datos -véase los servicios completos proporcionados por Valencia Port PCS en la Figura 7-, son suministrados en formato EDI- Electronic Data Interchange.

Uno de los proyectos de innovación en curso actualmente implica la migración de este formato EDI a APIs de integración por parte de las terminales, como parte de la cadena de suministro, con la plataforma Tradelens de IBM y GTD Inc. Tradelens se define como: "Un ecosistema interconectado de partners de la cadena de suministro – navieras, proveedores logísticos, puertos y terminales, autoridades aduaneras y otros-. TradeLens se ejecuta en una matriz de blockchain, lo que garantiza que a nivel de permisos todos los actores que forman parte de un envío tienen acceso solo a su información y una auditoría segura de todas las transacciones."

6.2.2. TOS y ECS

Tanto a nivel de inteligencia operacional como de gestión de equipamiento, el eje de la automatización en terminales está formado por el binomio TOS-ECS.

La perspectiva del TOS como núcleo en las terminales está cambiando de enfoque. La complejidad en la adaptación a cada una de las terminales y la necesidad de integración con sistemas de terceros para completar las funciones necesarias para la digitalización completa de la operativa, hace que se postule como uno de los sistemas más relevantes pero no el único a la hora de proporcionar y gestionar datos. Por este motivo, en favor de la simplicidad en la implantación y la modularidad, se desacoplan del TOS nuevas funciones tanto del lado mar como del lado tierra y se integran los datos de cada uno de los módulos de forma centralizada en la nube.

Los sistemas de software ECS (Equipment Control Systems) actúan integrando el equipamiento automatizado entre sí y con el TOS de la terminal. Conforme los diferentes tipos de maquinaria avanzan hacia la



Figura 7. Servicios de ValenciaPort PCS (Valencia Port PCS, s.f.).

autonomía y la robotización, los sistemas ECS adquieren mayor relevancia en la integración y en la aplicación de lógica de negocio para la interoperabilidad entre los mismos. En el caso de los vehículos autónomos, esta capa entre el TOS y el software de control de cada máquina (por ejemplo, el PLC) adquiere especial relevancia para alojar parámetros de navegación o reglas de tráfico.

El ECS centraliza información relativa a varios parámetros de cada una de las máquinas -ASCs, AGVs, STS, SCs, TTs- que componen el parque de la terminal: su estado (en operativa o en mantenimiento), la ruta, la localización o la orden de trabajo asignada, que se clasifica en colas para cada máquina. El ECS aporta inteligencia añadida mediante algoritmos complejos, acordes con la lógica definida para cada terminal. La implementación de esta lógica habilita la sincronización de colas entre máquinas, la regulación de los tiempos de conducción, el manejo de la congestión en el tráfico de la terminal, la monitorización de equipos o la gestión de excepciones.

La arquitectura está formada por varios microservicios. Se trata de una arquitectura flexible, de tal forma que permite el escalado vertical y horizontal, con múltiples servidores trabajando activamente en paralelo para manejar las comunicaciones entre el TOS y el equipo.

El reto está en la definición del límite entre la funcionalidad del TOS y del ECS y en la comunicación entre ellos mediante mensajes estandarizados, ya que todavía siguen variando en función del fabricante de equipos.

6.2.3. Robotización y autonomía de máquinas

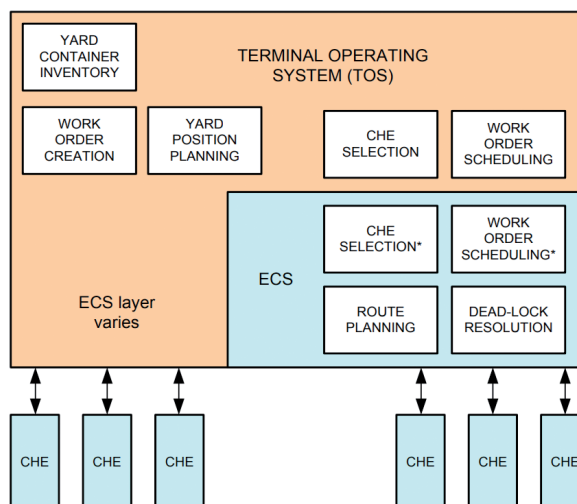
Tomando como referencia las definiciones planteadas por el informe "The future of automated Ports" (McKinsey, 2018), la evolución de la maquinaria en puertos comienza desde el denominado Puerto 1.0, en el que la terminal adopta el uso de maquinaria y sus trabajadores determinan la operativa. En el Puerto 2.0, la terminal define los pasos del proceso desde el TOS, mientras que el área de operaciones toma las decisiones desde la torre de control. El Puerto 3.0 es una evolución del anterior en la medida en que el equipamiento automatizado y los algoritmos ejecutan y optimizan los procesos, dejando las excepciones para su gestión por parte de los humanos. Pero más allá del 3.0, el Puerto 4.0 pasa de gestionar a "orquestrar" flujos de información dentro y fuera de la terminal, siendo las máquinas objetos físicos de manejo de carga, pero también herramientas de generación de datos para la trazabilidad y la optimización no sólo de la terminal, sino de todo el ecosistema portuario.

Como indica el mencionado informe, "Los puertos, ahora vistos a menudo como limitaciones en las redes de transporte, podrían entonces resolver activamente problemas en otras partes de la cadena de valor."

Cada vez más, las máquinas presentes en puertos 3.0 funcionan de forma totalmente automatizada, no tripulada, con el operador actuando en la sala de control tan sólo cuando se generan excepciones en el proceso. Ejemplo de ello en las grúas de muelle son las STS automatizadas, que se operan de forma remota.

Figura 8. Terminal Operating System (TOS) y Equipment Control System (ECS).

Fuente: PEMA (PEMA, 2016).



En las grúas de patio, las ASCs (ARMGs) funcionan con un flujo 100% automatizado en el manejo de contenedores, tanto desde los vehículos externos en lado tierra como hacia equipo de transporte horizontal como shuttle carriers, que pueden ser automáticos o manuales, o AGVs / lift AGVs en el lado mar.

Como mención adicional a la aplicación de sistemas autónomos, cabe señalar la utilización de drones en las tareas de mantenimiento (Kalmar, s.f.) o la creación de un sistema de transporte inteligente que sustituye al tráfico de camiones de acceso a la terminal durante 9 km (Built by China, 2021).

Para la autonomía de las máquinas son imprescindibles los sensores integrados (transpondedores, infrarrojos, cámaras lineales, cámaras PTZ, sensores láser, radares, GPS, RFID, NFC) o los que se encuentran en la propia infraestructura civil de la terminal. Conforme aumenta su conectividad a nivel de comunicaciones y las prestaciones del propio sensor, mejorará en gran medida el rendimiento de la máquina.

6.2.4. *Machine learning y predicciones*

El objetivo a futuro es crear un modelo de datos estructurado en base a la definición de procesos. Este modelo de datos identifica, siguiendo las diferentes etapas de cada proceso en diversas áreas de la terminal, cuáles son los datos brutos necesarios para poder establecer sobre ellos unas reglas de negocio. Estos datos en bruto se pueden utilizar bien con el propósito de generar analítica de datos y reportes automatizados o bien para inyectarlos en otras aplicaciones modulares y específicas para cada terminal, que cumplan diversas funcionalidades relacionadas con estrategias de planificación.

Es importante definir una infraestructura de TI que soporte este modelo de datos y que los incluya en una plataforma centralizada en la nube que actúe como una única fuente fiable de información fácilmente accesible por otras partes autorizadas. También es relevante establecer la propiedad del dato y los permisos de compartición, así como de acceso y lectura tan sólo de los datos autorizados en el modelo.

Una vez el modelo está definido y la información se encuentra en la nube, se aplican entonces las reglas o definiciones de negocio adecuadas y comunes que se comparten de forma homogénea y estándar.

Sobre esta cantidad masiva de datos brutos obtenidos en tiempo real a lo largo del tiempo y con las definiciones de negocio establecidas, el siguiente paso consiste en entrenar el modelo con algoritmos -utilizando entre otros métodos estadísticos variaciones, distribuciones, regresiones, agregaciones- y calcular predicciones basadas en mecanismos de aprendizaje automático de patrones de comportamiento de datos, es decir, machine learning

Machine learning, según IBM, se define como: “una rama de la inteligencia artificial y de la ciencia computacional que se centra en el uso de datos y algoritmos para imitar la forma en que los humanos aprenden, mejorando gradualmente su precisión”

Estas predicciones repercuten en una mejor toma de decisiones, ya que, independientemente de una posible corrección o intervención humana, serán capaces de extrapolar comportamientos históricos recurrentes como patrón o línea de decisión.

La parte más importante consiste en la identificación de las reglas de negocio, las cuestiones clave a resolver y por tanto los datos necesarios a analizar. El factor más importante es de nuevo el factor humano, es decir, contar con los profesionales capacitados para plantear estas reglas y cuestionar los patrones predictivos – son llamados unicornios- comprendiendo tanto la parte operativa como la parte de tecnologías de la información.

6.3. Estandarización

Para poder medir y comparar datos es imprescindible estandarizar las convenciones empleadas, las definiciones y la nomenclatura, para que diferentes sistemas integrados puedan hablar el mismo lenguaje. Por este motivo la estandarización es clave en la automatización.

En diferentes sectores industriales la estandarización es uno de los factores determinantes en la matriz de estructura de proceso-producto y alcanza niveles muy elevados en caso de un proceso en línea, como en el sector del automóvil, o de flujo continuo, cuando no hay tiempos de espera y por parte de cada equipo se ejecutan siempre las mismas acciones.

Es un concepto clásico el simplificar al máximo las operaciones antes de proceder a la automatización y posteriormente a la integración. Para ello se utilizan metodologías como (Universidad Politécnica de Valencia, 2005):

- SMED (Single Minute Exchange of Die) para analizar y evitar tiempos de espera desperdiciados centrandos los esfuerzos en perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación.
- Control estadístico de procesos (SPC) para asegurar que los procesos cumplen con los estándares y se eliminan variables imputables de forma manual.
- Equilibrado de líneas, es decir, equilibrar tiempos de ciclo para evitar cuellos de botella y tiempos improductivos, aumentando así la productividad.

Dada la repetitividad de los procesos de carga y descarga en puertos, estos métodos estadísticos clásicos en industria son ejemplos aplicables para la simplificación y estandarización de procesos en terminales.

En los Smart Ports se aplican los estándares comunes de la industria 4.0. Utilizando la terminología del informe La Transformación digital de la industria española (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015) "los 'habilitadores digitales o tecnológicos' son el conjunto de tecnologías que hacen posible la Industria 4.0". Entre ellas, y por áreas de aplicación:

6.3.1. Ciberseguridad

- 6.3.1.1. ISO/IEC JTC 1/SC 27 Técnicas de seguridad para tecnologías de la información
- 6.3.1.2. IEC/SC 65C/WG 13 Redes industriales. Ciberseguridad.
- 6.3.1.3. ISO TC 292/WG 2 Continuidad y resiliencia de las organizaciones

6.3.2. Conectividad

- 6.3.2.1. IEC TC 65 Medición, control y automatización de procesos industriales
- 6.3.2.2. SC 65A Aspectos del sistema
- 6.3.2.3. SC 65B Dispositivos de medición y control
- 6.3.2.4. SC 65C Redes industriales
- 6.3.2.5. SC 65E Dispositivos e integración en los sistemas empresariales

6.3.3. Robótica Avanzada

- 6.3.3.1. ISO 10218-1:2011 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales.
- 6.3.3.2. ISO 10218-2:2011 Sistemas robot e integración
- 6.3.3.3. ISO TS 15066:2016 Robots y dispositivos robóticos. Robots colaborativos

6.3.4. Sensores, IoT, Cloud Computing, Big Data

- En este caso, se han creado los comités correspondientes
- 6.3.4.1. ISO/IEC JTC 1/WG 10 Internet of Things,
- 6.3.4.2. ISO/IEC JTC 1/SC 38 Cloud Computing and Distributed Platforms
- 6.3.4.3. ISO/IEC JTC 1/WG 9 Big Data

En los últimos años se están desarrollando plataformas de estandarización que tratan de resolver necesidades específicas de estandarización dentro del sector marítimo- portuario.

6.3.5. Industria marítima

- 6.3.5.1. DCSA
 - 6.3.5.1.1. Industry blueprint
 - 6.3.5.1.2. Data and interfaces
 - 6.3.5.1.3. IoT
 - 6.3.5.1.4. Just in Time Port of Call
 - 6.3.5.1.5. eDocumentation
 - 6.3.5.1.6. Cybersecurity
- 6.3.5.2. TIC 4.0
 - 6.3.5.1.1. Container Handling Equipment Activity and Power Source Concepts and Definitions
- 6.3.5.3. ISO TC 8 Blueprint for Port Call Data
- 6.3.5.2. IMO data set related to maritime services time stamps
- 6.3.5.2. Revised IMO compendium on facilitation and electronic business

7. PRINCIPALES BENEFICIOS Y RIESGOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

7.1. Beneficios

En un entorno en el que cada vez más el usuario final demanda información sobre los servicios contratados de forma inmediata, así como la rapidez y la efectividad en la entrega de los productos de consumo, el transporte marítimo no puede quedarse atrás. Para poder conseguir los objetivos de servicio de una manera más eficiente, el avance de la tecnología utilizada para la automatización de procesos se pone a disposición para conseguir:

- Incremento de la productividad, identificando cuellos de botella y tendencias en determinados comportamientos de los modelos de datos implantados.

- Información en tiempo real, que permite una rápida toma de decisiones.
- Información recopilada en datos históricos para trabajar sobre ella con modelos predictivos.
- Mayor seguridad, eliminando la presencia de personas en zonas de riesgo y por tanto minimizando accidentes.
- Menor impacto ambiental, con la utilización de la tecnología para la obtención de datos que permitan monitorizar y por tanto modular diferentes palancas de cambio. Por ejemplo, actuar sobre la velocidad de la maquinara interna según las necesidades de producción o regular los accesos a la terminal de forma escalonada y por tanto reduciendo las emisiones.
- Mayor retorno de la inversión, acelerando los tiempos de operación.
- Procesos integrados y optimizados
- Mayor flexibilidad y pro-actividad para la solución de errores por la predictibilidad.

disruptivo para los trabajadores”. Un 43% de los negocios están preparados para reducir su plantilla debido a la integración de la tecnología en los procesos.

En 2025 se espera que el tiempo que pasan los humanos y las máquinas en tareas actuales en el trabajo sea el mismo. Sin embargo, el número de puestos de trabajo destruidos será sobrepasado por el número de “trabajos del mañana”. De esta manera, en 2025 se estima que 85 millones de puestos de trabajo puedan ser desplazados por máquinas, mientras que pueden surgir 97 millones de nuevos roles mejor adaptados a la nueva división del trabajo entre humanos, máquinas y algoritmos.

Según datos del FEM, un 50% de los trabajadores necesitarán formación y nuevas habilidades. Los líderes empresariales entienden, según estos mismos datos, que necesitan invertir en capital humano. A medio y largo plazo es más rentable la recapacitación de los empleados desplazados por la automatización en tareas de mayor valor añadido ya que la tendencia en la adopción de nuevas tecnologías sigue al alza -Figura 9-.

La automatización sustituye procesos repetitivos por otros en los que las personas aportan valor añadido con capacidades como la creatividad, la improvisación o el razonamiento basado en el contexto operativo. Esto puede atraer talento a la industria, dando trabajo a nuevos perfiles de analistas de datos, matemáticos para el cálculo de algoritmos, desarrolladores de software, ingenieros de robótica o especialistas en ciberseguridad -Figura 10- que se retroalimenten con los roles clásicos de la terminal para conseguir un equipo de trabajo multidisciplinar.

7.2. Riesgos

7.2.1. Social

En su informe “The Future of Jobs 2020” publicado en octubre del pasado año, el Foro Económico Mundial indica que “la automatización, junto con la recesión asociada al COVID-19, está creando un doble escenario

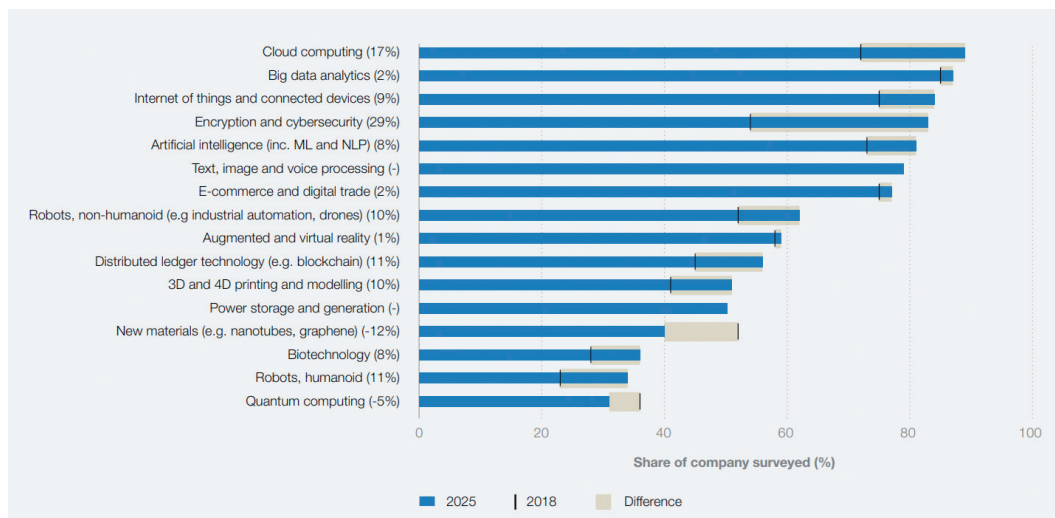


Figura 9. Tecnologías que adoptará las empresas encuestadas en 2025 (World Economic Forum, 2020).

Figura 10. Roles en demanda creciente y decreciente en diversas industrias (World Economic Forum, 2020).

↗ Increasing demand		↘ Decreasing demand	
1	Data Analysts and Scientists	1	Data Entry Clerks
2	AI and Machine Learning Specialists	2	Administrative and Executive Secretaries
3	Big Data Specialists	3	Accounting, Bookkeeping and Payroll Clerks
4	Digital Marketing and Strategy Specialists	4	Accountants and Auditors
5	Process Automation Specialists	5	Assembly and Factory Workers
6	Business Development Professionals	6	Business Services and Administration Managers
7	Digital Transformation Specialists	7	Client Information and Customer Service Workers
8	Information Security Analysts	8	General and Operations Managers
9	Software and Applications Developers	9	Mechanics and Machinery Repairers
10	Internet of Things Specialists	10	Material-Recording and Stock-Keeping Clerks
11	Project Managers	11	Financial Analysts
12	Business Services and Administration Managers	12	Postal Service Clerks
13	Database and Network Professionals	13	Sales Rep., Wholesale and Manuf., Tech. and Sci.Products
14	Robotics Engineers	14	Relationship Managers
15	Strategic Advisors	15	Bank Tellers and Related Clerks
16	Management and Organization Analysts	16	Door-To-Door Sales, News and Street Vendors
17	FinTech Engineers	17	Electronics and Telecoms Installers and Repairers
18	Mechanics and Machinery Repairers	18	Human Resources Specialists
19	Organizational Development Specialists	19	Training and Development Specialists
20	Risk Management Specialists	20	Construction Laborers

7.2.2. Ciberseguridad

Con la conectividad de los sistemas basados en internet, la exposición a un ciberataque es una realidad. Las terminales deben asegurar que sus sistemas sean robustos y sigan las normas estándar de ciberseguridad como protección a fin de repeler estos ataques.

7.2.3. Implementación

La definición de excepciones se completa con el funcionamiento del sistema automatizado en producción. Esto significa que puede aparecer un error no previamente definido, con lo que se corre el riesgo de parada del sistema. Sin embargo, se predefinen soluciones para la gestión manual de incidencias.

8. CONCLUSIONES

La parte crítica de la automatización es el factor humano. La innovación tecnológica es esencial para la evolución del ecosistema portuario dentro del marco del Puerto 4.0 y para la adaptación de la terminal a las exigencias de la demanda y el mercado. Esta innovación está detrás de un crecimiento sostenido, modular y flexible.

En contraposición, aparece la resistencia al cambio de paradigma, que implica el asentamiento en la inacción entendida como la estabilidad en los procesos conocidos.

Resulta fundamental la visión estratégica a medio y largo plazo, el compromiso y la voluntad de recorrer el camino del cambio, la mentalidad abierta para la adaptación, así como la formación y la capacitación del equipo a fin de interiorizarlo y hacerlo propio, siendo conscientes de que la incorporación de la tecnología es una fuerte ventaja competitiva.

9. AGRADECIMIENTOS

A Óscar Pernía (Nexport), por la oportunidad de formar parte de su equipo, por el feedback sobre este texto y por la visión innovadora en este sector.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PRINCIPALES

Anahita Molavi, Gino Lim, Bruce Race. (Abril de 2019). A Framework for Building a Smart Port and Smart Port Index. Houston, Texas, Estados Unidos.

Built by China (Julio de 2021). *Qingdao Port*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=SQILPiUGETo>

International Society of Automation (s.f.). *isa.org*. Obtenido de <https://www.isa.org/about-isa/what-is-automation>

Kalmar. (s.f.). Obtenido de <https://www.kalmar.es/equipment-and-services/crane-inspection/>

McKinsey. (Diciembre de 2018). *The future of Automated Ports*.

- Obtenido de <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/the-future-of-automated-ports#>
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo** (2015). *La Transformación digital de la industria española* (. Obtenido de <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf>)
- PEMA** (2016). *Container Terminal Automation* . Obtenido de <https://www.pema.org/wp-content/uploads/downloads/2016/06/PEMA-IP12-Container-Terminal-Automation.pdf>
- Pernía, Ó.** (s.f.). Terminal Automation Foreseen. *Port Technology International*.
- Port Technology.** (s.f.). *The World's First Automated Terminal*. Obtenido de https://www.porttechnology.org/news/ect_the_worlds_first_automated_terminal/
- Rodrigo González, González-Cancelas, Molina Serrano, Camarero Orive.** (Agosto de 2020). Clasificación de los diez primeros smart ports en el sistema portuario español desde una perspectiva económica, social, institucional, medioambiental y el grado de digitalización.
- Obtenido de <http://ingenieriacivil.cedex.es: http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2415#nav-download>
- Rouhiainen, P.** (s.f.). Automation 'standards': the search for consistency and repeatability. *Port Technology International*.
- Seaterminals.eu** (2016). Obtenido de <http://www.seaterminals.eu/>
- Universidad Politécnica de Valencia** (2005). *Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos*. Valencia: Departamento de organización de empresas. .
- Valencia Port PCS** (s.f.). Obtenido de <https://www.valenciaportpcs.com/>
- Wiese, W.** (Marzo de 2019). *El camino desde la automatización hasta los sistemas autónomos*. Obtenido de <https://new.abb.com/news/es/detail/29219/el-camino-desde-la-automatizacion-hasta-los-sistemas-autonomos>
- World Economic Forum** (Diciembre de 2020). Obtenido de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf

4.0. TOOLS: DIGITAL TWINS IN PORTS

Christian Blauert
Mechanical Engineer.
Global Director Ports and Terminal Development. Moffat & Nichol.

Encarna López Castejón
MSc Coastal and Marine Engineering and Management.
Project Engineer, Port Engineering and Planning. Moffat & Nichol.

1. INTRODUCCION

- 1.1. Origin of the concept
- 1.2. What is a “Digital Twin”? Towards a common definition in the Port Industry

2. DIGITAL TWINS IN PORTS: APPLICATION

- 2.1. Scalability of Digital Twins
- 2.2. Digital Twins as tools for collaborative data sharing
- 2.3. Digital Twins and BIM

3. VALUE PROPOSITION FOR DIGITAL TWINS IN PORTS

- 3.1. Optimization and Data-Driven Planning
- 3.2. Information Consolidation
- 3.3. Process Orchestration
- 3.4. Simulation and Emulation
- 3.5. Greener Ports

4. PRACTICAL IMPLEMENTATION OF PORTS 4.0. TOOLS: FLEXTERM DIGITAL TWIN

- 4.1. Simulation
- 4.2. Emulation
- 4.3. Artificial Intelligence / Machine Learning

5. REALIZATION: STAGED APPROACH TO DIGITAL TWIN SMART PORTS USING FLEX TERM TOOLS

- 5.1. Stage 1: Simulation
- 5.2. Stage 2: Emulation
- 5.3. Stage 3: Approach

6. DIGITAL TWIN BENEFITS AND VALUE

7. CASE STUDIES

- 7.1. Simulation Case Studies
 - Puerto Coronel, Chile
 - Operational Analysis and Optimization at Cross-Terminal Road/Rail Simulation, Georgia, USA
 - Terminal Planning: Tianjin Port Consolidation, Tianjin, China
- 7.2. Emulation Case Studies
 - Layout Operation and Concept Evaluation: Port of Singapore Authority (PSA), Singapore
 - Operational Analysis, Optimization, and Continuous Improvement at Maher Terminals, USA
- 7.3. Logistics Case Studies

8. THE FUTURE: CHALLENGES AHEAD IN THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL TWINS IN PORTS

9. CONCLUSION

10. ACKNOWLEDGEMENTS

11. REFERENCES



CHRISTIAN BLAUERT

*Mechanical Engineer.
Global Director Ports and Terminal Development. Moffatt & Nichol.*

Con formación académica en ingeniería mecánica, con especialización en producción, logística, gestión y economía, Christian Blauert cuenta con más de 25 años de trayectoria en la industria marítima, desempeñándose actualmente como Director Global de Desarrollo de Puertos y Terminales de Moffatt & Nichol.

A lo largo de su carrera profesional, ha estado involucrado en el liderazgo de proyectos de automatización de terminales totalmente nuevas, como Container Terminal Altenwerder (CTA) en Hamburgo, y ha ocupado puestos de alta dirección para operadores portuarios globales afiliados a líneas marítimas. Su experiencia abarca la planificación de puertos y terminales de contenedores, con un fuerte enfoque en la optimización de puertos y la automatización de las operaciones de terminales (Terminal de contenedores Burchardkai en Hamburgo). Durante su etapa como consultor marítimo, asesoró a operadores en áreas tanto técnicas como comerciales de la industria. Los proyectos incluyeron análisis operativos, transporte y logística, adquisiciones, evaluación de equipos terminales y especificaciones de TI.



ENCARNA LÓPEZ CASTEJÓN

*MSc Coastal and Marine Engineering and Management.
Project Engineer, Port Engineering and Planning. Moffatt & Nichol.*

Encarna López Castejón se incorporó a Moffatt&Nichol como Ingeniero Proyectista en Ingeniería Marítima, Portuaria, y Costera en 2018. Con anterioridad, formó parte del equipo de ingeniería técnica de la terminal DP World London Gateway. Tiene experiencia en proyectos de ingeniería, operaciones, planificación, automatización, simulación y diligencia debida en el ámbito portuario. En ellos, ha colaborado con Operadores Portuarios, Autoridades Portuarias, entidades financieras y otros consultores y entidades, en el desarrollo de proyectos en Europa, América Central y del Sur, África, y Oriente Medio.

Encarna se graduó en Ingeniería Civil en 2015. Durante estos estudios, fue becada por la Comisión Europea para llevar a cabo estudios de especialización en el campo de la ingeniería y gestión marítima y costera (MSc Coastal and Marine Engineering and Management) en universidades de Noruega, España, y el Reino Unido. Durante este periodo, llevó a cabo periodos de prácticas en las Autoridades Portuarias de Cartagena e Islas Baleares (España), y en la sede de la Organización Marítima Internacional, en Londres.

ABSTRACT

Today's Ports are complex and technologically advanced logistics ecosystems where multiple stakeholders operate in continuous interaction around the flow of goods across the supply chain. However, quite often, they operate individually with their processes, information, and data in isolated silos, inhibiting the optimization and continuous visibility of operations.

In this context, Digital Twins emerge as an enabling tool that allows to integrate, process, and coordinate historical and real-time information from the different physical elements and stakeholders interacting in Ports, providing added value and changing the decision-making paradigm throughout the Port planning, development and operation lifecycle for all stakeholders, now able to visualize terminal assets and cargo in real-time (live mirroring), and generate / test scenarios in a virtual, risk-free, environment through simulation and emulation.

This article presents the concept of Digital Twin, focused on its applicability to the Port Industry, and contextualized within its particular development and operating environment. Its role as a tool for collaborative data sharing between Port Stakeholders is analysed, as well as its scalability, enabling to integrate information from a wide array of sources, and to incorporate from single terminal assets to whole Port systems, regardless of their size and type(s) of cargo handled.

Considering this, the value proposition of Digital Twin implementation in ports is presented as focused in four main key areas: optimization and data-driven planning, information consolidation, process orchestration, simulation and emulation, and sustainability. The practical approach to their implementation is presented through the FlexTerm Digital Twin tool, providing examples for its realization in different port and logistics environments.

Looking to the future ahead in the Digital Twin technology, the implementation of Artificial Intelligence and Machine Learning will enable the incorporation of predictive and prescriptive intelligence to the port processes, elevating to an elevated stage the decision-making process in the short, medium, and long term.

KEY WORDS

Digital Twins, Live Mirroring, Simulation, Emulation, Smart Ports, Artificial Intelligence, FlexTerm.

1. INTRODUCTION

Ports are essential connection nodes in the global logistics network. As key players in the global trade scenario, time and economic efficiency in port operations is crucial for the overall supply chain performance.

The role of Ports in the supply chain becomes particularly relevant if we consider how globalization continuously increases the interconnectivity of supply networks. This allows for growth and exposure to a larger market through the movement of goods on a global scale, in a scenario where shipping lines become the backbone of the global supply chain, as enablers for the transportation of goods on a large-scale and by economic means.

The combination of increased volume demand, larger vessels, and more vessel services results in a higher strain on Port Facilities.

In this context, Port Facilities fulfil an important role in the global supply chain network as nodes connecting to inland transport as well as other port facilities. They compete for business in a high-demand environment, and therefore any optimizations can prove to be beneficial to improve operations, reduce costs and attract new business. In addition, Port Facilities are capital infrastructures, operated by heavy equipment: consequently, developments or expansions in port facilities are capital and time intensive, requiring for exhaustive analysis prior to implementation.

For all these reasons, the port industry continuously evolves with the implementation of technological developments that enhance the decision-making processes. By its own nature, Port Facilities function as ecosystems with multiple actors and stakeholders continuously interacting with the end goal of doing business around the movement of goods.

However, quite often these actors and stakeholders operate individually with their processes, information, and data in isolated silos. As a result, optimization efforts are limited by the scope and visibility borders that their data provide. Therefore, consolidation and unification appear to be a key element in the process of evolving towards the processing and understanding of information in a concise and accessible manner.

For this, information consolidation in an unified data foundation is a critical step, since the availability and transparency in the information analysis exposes new opportunities for optimization. For this purpose, using an unified data foundation with a real-time data, the information can be fed into a virtual copy or Digital Twin of the Port Facility. The Digital Twin of the Port Facility would be accurate, to scale, and with all operating assets existing as a virtual representation of the real physical assets.

The real-time data allow the Digital Twin to show or mimic operations with a virtual representation that is accessible and in real-time, known as Live Mirroring. Live Mirroring allows operators to monitor Port operations from a high level and from a control tower perspective. In addition, an unified data foundation allows for new optimization opportunities to improve Port Facility operations, by becoming more efficient and doing more with limited resources, reducing costs, and create new business opportunities. Optimization is achieved by employing a variety of sophisticated techniques including:

- Simulation
- Emulation
- Artificial Intelligence / Machine Learning

In this context, the Digital Twin technology emerges as an enabling tool that allows to integrate, process, and coordinate historical and real time information from the different physical elements and stakeholders interacting in the Port ecosystem, changing the decision-making paradigm for Port developers and operators, now able to visualize in real-time, generate and test scenarios in a virtual, risk-free, environment. This also becomes a key element in the development and validation of the business case in Ports, shifting Port planning towards a data-driven process scenario, where simulation from the mentioned data core foundation elucidate where and how Ports should place investment for effective business growth.

1.1. Origin of the Concept

“You will look into a computer screen and see reality [...], some part of your world [...] will hang there in a sharp color image, abstract but recognizable, moving subtly in a thousand places. This mirror world you are looking at is fed by a steady rush of new data pouring in through cables. It is infiltrated by your own software creatures, doing your business.” [1]

This statement represents what is considered to be the first voiced reference to the Digital Twin technology; the publication of “Mirror Worlds” in 1991, which reflects the basic concept of a Digital Twin, as understood today, even if the concept was not yet introduced.

The first formal introduction of the software concept ‘Digital Twins’ in manufacturing was proposed by Dr. Michael Grieves (University of Michigan) back in 2002, in the frame of the “PLM (Product Lifecycle Management) Development Alliance”.

However, the term ‘Digital Twin’ is credited to NASA’s John Vickers in 2010, who applied it to aerospace applications, at the same year that the “Airframe Digital Twins” concept was proposed by the US Air Force Research Laboratory. [2]

From this point onwards, different industrial software companies, software, research, and manufacturing organizations have continued to expand the definition of the term ‘Digital Twin’ and its implementation across a broad range of industries. This development is steadily progressing, and its market size is expected to grow up to \$16 Billion by 2023. [3]

It is considered that this increase has been sustained in the capabilities of Digital Twins for modelling and simulation, interaction, collaboration, and service for practical applications.[2] From a business perspective, these capabilities are strongly aligned with the requirements of the maritime logistics industry.

1.2. What is a ‘Digital Twin’? Towards a common definition in the Port Industry

Since it was first conceptualized, the definition of Digital Twin appears in literature from multiple sources with varying definitions. At this point in time, there is still no general consensus in the industry for a standard definition of the term ‘digital twin’; the concept continuously evolves as so does the technology

that supports it, and reaching a common agreement on a single definition is challenged by the diversity of research fields involved.

How this lack of common understanding in a definition of the 'Digital Twin' concept is materialized of the Port industry today is shown in the research carried out on the tenders at Hamburg Port Authority; it reflected that in recent times, the presence of the 'Digital Twin' term was increasing within tenders; nonetheless, the understanding on the term was diverging between different cases, "inhibiting discussions and comparability across proposed projects" [4]. In this regard, recent initiatives from different actors in the Port Community intend to consolidate the terminology for the enhancement of the digital development in the industry. [5], [6]

Some of the proposed definitions for 'Digital Twin' are shown in the table below:

The literature shows that amongst the varying terms defining Digital Twin a consistent theme emerges as a digital representation matched and connected with a physical asset. This core notion of 'Digital Twin' can be represented by its definition as a computerized model of a real- world system in which every physical of functional entity is represented by a digital counterpart.

Other definitions reinforce the aspect of the continuous connection between the real or planned system and its digital representation, taking the functionalities of Digital Twins beyond those of a conventional visualization tool. One of the key and concise descriptions that resonates with a modern definition of Digital Twin is the following:

"These are digital representations [...] that support not only a prognostic assessment at design stage (static perspective), but also a continuous

Figure 1. Definitions of Digital Twin in the existing literature.

Source: [7].

No.	Ref	Year	Definition of Digital Twin
1	16-18	2010 and 2012	An integrated multi-physics, multi-scale, probabilistic simulation of a vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its flying twin. The digital twin is ultra-realistic and may consider one or more important and interdependent vehicle systems
2	19	2012	A cradle-to-grave model of an aircraft structure's ability to meet mission requirements, including submodels of the electronics, the flight controls, the propulsion system, and other subsystems
3	20	2012	Ultra-realistic, cradle-to-grave computar model of an aircraft structure that is used to assess the aircraft's ability to meet mission requirements
4	23	2013	Coupled model of the real machina that operates in the cloud platform and simulates the health condition with an integrated knowledge from both data driven analytical algorithms as well as other available physical knowledge
5	21	2013	Ultra-high fidelity physical models of the materials and structures that control the life of a vehicle
6	24	2013	Structural model which will include quantitative data of material level characteristics with high sensitivity
7	25	2015	Very realistic models of the process current state and its behavior in interaction with the environment in the real world
8	22	2015	Product digital counterpart of a physical product
9	26	2015	Ultra-realistic multi-physical computational models associated with each unique aircraft and combinad with known flight histories
10	27	2015	High- fidelity structural model that incorporates fatigue damage and presents a fairly complete digital counterpart of the actual structural system of interest
11	28	2016	Virtual substitutes of real world objects consisting of virtual representations and communication capabilities making up smart objects acting as intelligent nades inside the internet of things and services
12	29	2016	Digital representation of a real world object with focus on the object itself
13	30	2016	The simulation of the physical object itself to predict futura states of the system
14	31	2016	Virtual representation of a real product in the context of Cyber-Physical Systems
15	32	2016	An integrated multi-physics, multi-scale, probabilistic simulation of an as-built system, enabled by Digital Thread, that uses the best available models, sensor information, and input data to mirror and predict activities/performance over the life of its corresponding physical twin
16	33	2016	A unified system model that can coordinate architecture, mechanical, electrical, software, verification, and other disciplinespecific models across the system lifecycle, federating models in multiple vendar tools and configuration-controlled repositories

update of the virtual representation of the object by a real time synchronization with sensed data. This allows the representation to reflect the current status of the system and to perform real-time optimizations, decision making and predictive maintenance according to the sensed conditions". [7]

With regards to the definition of the system status, Digital Twins have the capability to bring together and integrate the increasing flow of information gathered within the Port Facilities, that widely vary in format, type, and source, including:

- Plans and drawings
- BIM Models
- Sensors
- Product specifications
- Data inputs
- IoT feeds
- Status, inspection, and maintenance records

From this definition, the next step in the conceptualization of a digital twin is reached, as a real-time interaction tool representing a reality. This connection is described as *"Digital Twins synchronize real and virtual space with unprecedented speed and level of detail, solving the problem of relying on the assumed similarity between probabilistic simulation and reality"*. [4]

The continuous feedback between the physical and digital environment becomes key in the whole project lifecycle, emerging as a core notion in the 'Smart Port' concept as a digitally integrated facility, using historical and current data in order to:

- Assist from the initial validation of planning concept to design, construction phasing and operational readiness.
- During operations, the role of Digital Twins evolves towards its use in operations monitoring, planning, optimization, and evaluating development options.

The use of real-time data and interaction of multiple processes allows to shift the concept of digital twin beyond process simulation to the integration of historical data, sensor information in the mapping of a physical reality and feeding a multi-scale simulation or emulation. In this process, it is also possible to replicate past scenarios.

In addition, the development of Machine Learning and Artificial Intelligence take this concept beyond,

to advanced data analysis that allows to predict behaviors from the integration of the recorded data ('x' event is 'y' likely to happen given 'z' circumstances) and prescribe them (what 'x' should do given 'z' circumstances).

In this regard, the implementation of Digital Twins moves the flow of information from a single stream ('reading' the reality of a physical system) to the analysis of a complex system, integration of data, and return of information to the modeled reality (predicting and prescribing behaviour, leading towards autonomous decision making), closing the feedback loop between the reality and its digital twin.

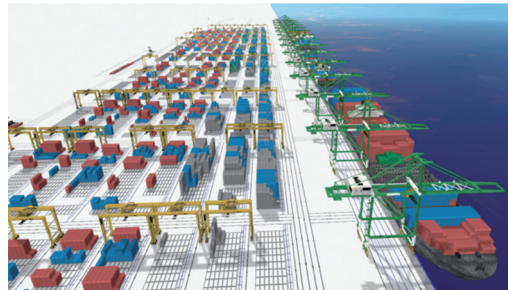


Figure 2. Digital Twin Concept - Physical reality and its digital counterpart .

Source: Moffatt & Nichol.

The following sections show how Digital Twins are implemented in the Port Industry today, and which tools enable their development.

2. DIGITAL TWINS IN PORTS: APPLICATION

As defined previously, the implementation of Digital Twins allows to read, record, represent and analyse an extensive amount of information from a variety of types and sources, from the physical conditions in the facility site to the status of each of its operating assets at any given time.

In this regard, the flexibility in its functionalities enables the digital twin technology to support Port Facilities across their whole lifecycle, from conception

to operational optimization, becoming a key decision-making supporting tool for the terminal and port ecosystem:

- In port planning, the implementation of Digital Twins provides insights on the capability of the different elements in the Port System to perform at the required service levels, and the potential conflicts in the interaction between Port Interfaces, under different development and/or demand scenarios.
- During the design of Port Facilities, the possibilities for phased development and their ability to commit with the expected requirements can be tested using Digital Twins, minimizing the risk in the definition of the construction phases for Port Facilities from elements in a terminal, Port Terminals, or whole Port Systems. Testing of extreme scenarios (emergencies, climatic extreme events...) is also enabled by this tool.
- In operating terminals, Digital Twins have the potential to become the single interface for the collection, visualization, and interpretation of the information of the live status of the facilities and their operating elements, including equipment and cargo.

Apart from a powerful visualization tool, Digital Twins allow to collect and analyse information to identify bottlenecks in the operation, understand the factors causing them, and enhance the implementation of solutions, since these can be tested in the digital twin environment. Additionally, the incorporation of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) allows to provide predictive and prescriptive insights on the behaviour of the different terminal elements.

As examples of this:

- The use of data from the vessels' Automatic Identification Systems (AIS) and Vessel Traffic Services (VTS) can be recorded, processed, and analysed through simulation tools, allowing to simulate maritime traffic, providing insights for resource allocation (pilots, tugs, mooring services, etc.).
- Landside traffic data within the Port area can be collected by entrance/exit records and sensed roads (video, induction, Bluetooth), and further analysed and simulated leading to smart traffic systems that recommend truck itineraries within the Port in real time.

- Maintenance of existing facilities can be enhanced through the implementation of Digital Twins. The implementation of SmartBrick layers enables for the detailed and continuous monitoring of infrastructure usage, weather conditions, and material fatigue, triggering alerts for infrastructure inspection and preventive maintenance. This is currently being successfully implemented in different landside and waterside infrastructure elements (bridges, berths, access roads, ...) at European Ports [4].
- Expansion or modification plans in operating terminals can also be supported by the testing environment provided by Digital twins, allowing to understand their physical and operational implications by realistically representing the Port environment and its operating system.

Overall, the implementation of the digital twin technology swifts the decision-making process in the immediate, short, mid, and long-term to a next stage in which information visibility, analysis, prescription, and prediction is possible, integrated in an unified platform, based on the real and historical data collected from different sources. This elevates the testing scenario to the digital environment, allowing to evaluate the different alternatives without being subject to negative impacts in the facilities along its lifecycle.

2.1. Scalability of Digital Twins

Flexibility in the application of the digital twin technology allows for this tool to be realized for a wide range of physical scopes and degrees of implementation within the Port Systems, adapting to respond to the decision-making needs.

In this regard, there is also a great degree of flexibility on the potential information input integrated into Digital Twin models; from the incorporation of CADD drawings and BIM models, to the integration of IoT and other sensing tools, or any combination of these: all of them can be integrated as required and available into the Digital Twin of the Port Facilities. An example of this is the implementation of the Digital Twin technology at Port of Rotterdam [8], [9].

Considering their reach and scope, different levels of "Digital Twin" implementations can be realized within the Port environment. The scalability of this tool allows for them to be implemented from individual components (e.g., a bridge, a crane, a section of a road), to systems and processes (e.g., the operation in a defined berth), terminals, and the whole Port System,

including different terminals, cargo handling modes, accesses, internal and external traffic. This allows for the analysis of the existing dynamics and interactions from the smaller to the larger operational units within Ports, adapting the effort to the requirements of the decision makers.

In addition, elements within the Port Facility can be part of different Digital Twin realizations at the same time, even for models pertaining to different organizations. For example, digital twin representations for Port roads could be developed by Terminal operators, Port Authorities and municipalities.

Each of these can also process different data types on that element, and also ID them differently. Managerial tools, such as Enterprise Architectural Management (EAM) can help resolve this issue. This is generally the case for digital twin models originated in the same organization. Nonetheless, in practice, the interaction between Digital Twins from different organizations is challenging, especially when the twins are created in different platforms [4].

2.2. Digital Twins as tools for collaborative data sharing

Stakeholders within the Port Industry operate in a strongly regulated environment. This is of particular relevance in the case of the Port Authority, as entities who play a core role between all the stakeholders involved in the Port activity; from shipping companies to nautical services, Port Agents and concession holders, which in some cases operate in direct commercial competition.

The operational environment in Ports can lead to reluctance among some of the stakeholders to share information related to their activity. This, in addition to the lack of previous coordination leads to a disunited setup, with Port-related information dispersed in data silos. In this context, privacy and security is a key factor in the information sharing, analysing, and reporting process, and Digital Twins enable to develop a single, shared, collaborative platform in which stakeholders' privacy is maintained through the development of different layers of information sharing and visualization, dependant on the user and coordinated by the Port Authority in agreement with the different stakeholders.

In parallel, the role of Port Authorities has been shifting from their traditional position as landlord, regulatory boards, to "managing advanced technological hubs, integrating the data generated from all actors

in the supply chain into cloud-based digital ecosystems, where collaborative data sharing provides better support for making strategic, tactical, and operational decisions." [10] This is reflected from an industry scale in initiatives such as the Data&Interfaces initiatives from the Digital Container Shipping Association, which aims to reach a common alignment in data definitions and exchange methods, reflected in the "DCSA Information Model" [6].

In this context, the Digital Twin technology, together with sensor devices (IoT) and machine learning enables Port Authorities to coordinate Port Data at all levels in a transparent and coordinated way, bringing the commercial security and data privacy required by the stakeholders, while providing them with direct benefit from these developments.

2.3. Digital Twins and BIM

In the last years, the infrastructure sector has seen the emerging Building Information Modelling (BIM) tools grow to be widely adopted in the industry. In this regards, infrastructure designers, operators and developers see the BIM methodology implementation to become a common feature in tender and development requirements.

This adoption has been changing the paradigms in the recording and processing of information in infrastructure design, construction, and management, moving to integrated systems where the information of design, construction, and maintenance is recorded.

This provides a link to the Digital Twin concept in the sense that both share the general view of becoming common platforms for the effective exchange of information. From this point onwards, the differences between both technologies become evident, as the BIM methodology is not based in the continuous 'live mirroring' of the reality nor is the integration of other exponentially growing technological fields, such as IoT and AI, through semantic models. [11]

For this, Digital twins are pointed as the 'next step' in the digitalization of the infrastructure lifecycle, as they provide a higher degree of detail and precision, being able to 'sense' the real time status of the infrastructure and continuously feed this information into the virtual model of the facilities. In this trend, the literature shows BIM models as 'abilities' or 'data sources' that can be integrated into a Digital Twin model and contribute to the feeding of data, as shown in Figure 3.

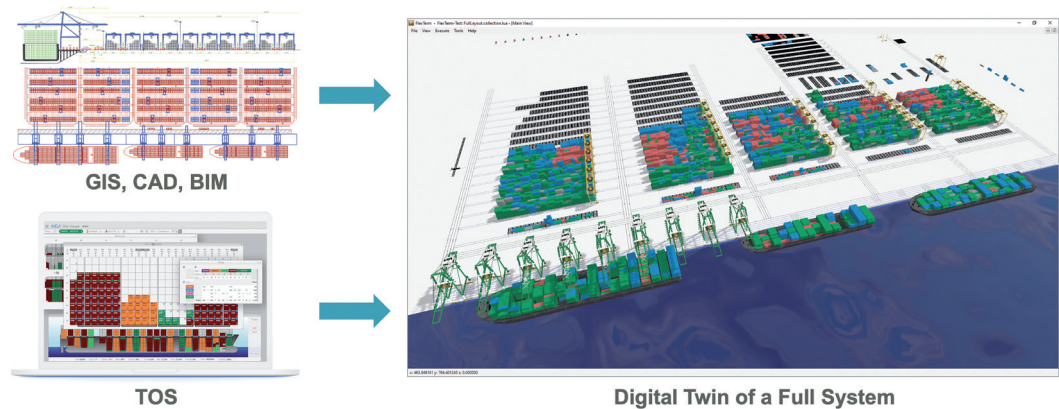
Figure 3. Identified Digital Twin Abilities and their roles within Virtual-Data-Physical paradigm.

Source: [11].

Part	Ability	Description
The Physical	Sense	The ability to observe the physical world in real-time via the use of sensors.
	Monitor	The ability to keep track, inform and issue warnings on relevant physical alterations.
	Actuate	The ability to change/activate/deactivate physical components based on Virtual decisions/stimuli.
The Data	BIM	The ability to integrate and consume BIM specific data sets in its various formats and standards.
	IoT	The ability to integrate and share data communicated by Internet of Things devices.
	Data linking	The ability to integrate and share data via Semantic Web protocols.
	Knowledge storing	The ability to store facts about the system, support rules and reasoning capabilities.
The Virtual	Simulate	The ability to apply engineering simulation models from various application domains.
	Predict	The ability to predict the behaviour of the physical based on digital simulations and sensing.
	Optimise	The ability to apply optimisation methods and recommend smart allocation of resources dynamically.
	Agency	The ability to delegate AI agents capable of managing (and actuating) the physical based on digital data, following well-defined behaviours, protocols and objectives.

Figure 4. Generation of a Digital Twin Model.

Source: Moffatt & Nichol.



In summary, the implementation of the BIM methodology in the Port Industry can be considered as a preliminary stage in the development of ‘Smart’, digitally integrated, Port Facilities. From a deployment point of view, BIM information can be fed into Digital Twin models, although the deployment of BIM methodologies is not a necessary but an ancillary step in the realization of Digital Twins in Ports, since the information they provide into the virtual Twin can be integrated to the model through different channels.

From this point on, the Digital Twin technology is able to integrate a broad range of additional capabilities for the real mirroring of existing facilities, continuously integrating information and feeding to the analysis (from sensors, sonar, IoT tools, data linking...) [11], [12]. This is fed to the enhanced analysis possibilities through simulation and emulation, and the integration of predictive and prescriptive functionalities through AI/ML, as described in this chapter.

3. VALUE PROPOSITION FOR DIGITAL TWINS IN PORTS

Once considered the physical and temporal scalability of Digital Twins, and their possibilities for deployment along the project lifecycle, the main features or value propositions for the implementation of Digital Twins in Ports can be consolidated into four main functional groups: optimization and data-driven planning, information consolidation and process orchestration, simulation and emulation, and environmental (greener Ports).

3.1. Optimization and Data-Driven Planning

Port facilities are key nodes in the global supply chain for the movement of goods. Trends in the overall supply change market, driven by globalization, provide Ports with greater access to a larger market but also increases supply chain complexity, with ever-changing dynamic conditions. From an analysis point of view,

if conditions were considered constant and entirely predictable with a steady supply, constant demand, and total reliability, then the management of the Port Facility and operations would become simplified, but the results obtained would be unrealistic.

Under normal operating conditions, both supply and demand are constantly changing, and there are dynamic and unpredictable events that can affect operations such as weather, equipment breakdowns, labour, or policy issues. Additionally, there are variations based on the combination of scheduling and coordination between the multiplicity of agents involved [5], working patterns, and many other factors that interact in the Port Operations interphase and can occur on a daily basis. Also, seasonality is an influential factor in supply and demand on a monthly scale, and trends can be extrapolated from long term trends in the order of years.

The combination of these events in order to manage and optimize the Port System becomes a logistical challenge, especially if it is approached through static analysis methods. In this context, optimization of the Port System is seen as a competitive advantage that can lead to significant benefits.

For this, implementation of Digital Twin technology enables optimization by evaluation and identification of improvement areas across all Port Systems, increasing efficiency as these pertain to the entire Port Facility. This allows Ports to 'do more' with their existing infrastructure, labour, facilities, and resources. This leads to a state where Ports can become more efficient by increasing throughput capacity and therefore having the capability to accept more goods and transfer them to the next stage in the supply chain in less time (logistics planning).

Consequently, optimized Ports can also reduce their operating costs by requiring fewer moves to accomplish tasks which in turn increases profits.

The optimization capabilities of Digital Twins can be extrapolated into the long-term evaluation of the business and technical opportunities of Ports: Port planning can become data-driven, with the data core foundation and analysis capabilities of Digital Twins allowing to bring optimization into the long-term strategy for growth.

Considering this, Digital Twins bring to Ports the opportunity to grow into more competitive assets against non-optimized counterparts, giving the potential to attract more business, which is also enabled with increased throughput capacity and enhanced,

data-driven, planning. Looking at the future, the competitive advantage of Ports will be based also in the possibility to offer more consistent, reliable, and predictable service to their clients while allowing stakeholders to plan and set expectations with confidence.

3.2. Information Consolidation

The consolidation of multiple interconnected systems into a single database enables Live Mirroring, better supply chain integration and data accessibility.

When the information is consolidated it enhances and enables the deployment of Artificial Intelligence / Machine Learning, Simulation and Emulation approaches. By implementing those approaches Port Facility operations can change on a fundamental level from operating in a reactive state where a problem occurs triggering a race to fix it, to operating in a predictive state, ensuring minimal impact on operations, to operating from a predictive state.

The predictive state identifies potential issues that will occur in the future such as bottlenecks, congestion, maintenance breakdowns, delays, peak throughput demands and resource deficits to meet demands, and prescribes corrective actions. Corrective actions are provided to support operator decision making with the benefit of having time to prepare for an upcoming issue. The Port operates by anticipating issues and taking action to resolve the issue in an informed and intelligent way rather than facing constant interruption based on unforeseen events that could have been predicted.

3.3. Process Orchestration

The consolidation of data allows the live visualization of the terminal, offering a single, accurate, and up-to-date platform in which the state (including position, status, and motion) of the digital versions of the terminal devices is updated in real time (Live Mirroring).

This capability is crucial in order to gain oversight and control of the asset status and flow of the cargo through different stages in the supply chain, enhancing the process to be as seamless and efficient as possible. This ensures that all goods are accounted for and that the Port operates in accordance with applicable policies and regulatory restrictions.

This visibility provides Port Operators with a 'digital control tower' platform through the Digital Twin model, controlling the end-to-end process at the Port,

and enhancing process orchestration. This supports for the decision-making process to be based on transparency and visibility of real-time data analytics, informing the management of disruptions and their potential impact. [13]

3.4. Simulation and Emulation

The Digital Twin includes a virtual representation of the physical asset that can be linked to real-time data. In addition to Live Mirroring, this virtual representation enables simulation and emulation.

Simulation allows the decision makers (Port Authorities, terminal operators, Port Operators, service providers...) to test multiple scenarios and outcomes in a virtual environment. This is particularly useful for assessing the impact of process changes, determining the optimal number of resources required to accomplish a task, and improving overall Port efficiency. It can also be used as an assessment tool to quantify the benefits and comparing these to the cost of changing facility infrastructure, number of resources, and resource allocations. This assessment of the decision-making process is faster, more accurate, and reduces the risk in comparison to traditional analysis methods and live tests.

In addition to this, emulation allows the virtual model to connect and communicate directly to the relevant real systems, typically a Terminal Operating System (TOS). The difference between Emulation and Simulation is nuanced because Emulation goes a step beyond in the accuracy of the reality represented by connecting to the real system, replicating behaviour exactly as it would occur in the real operations in the Port. This provides a unique opportunity for precise optimization, testing specific configuration parameters to determine optimal settings, operator training and providing feedback by debugging operating software such as the TOS or Port Community System (PCS) for the broader use in Ports.

3.5 Greener Ports

Greener operations are an increasing priority and have positive environmental effects that extend well outside the Port including the community and hinterlands. When the efficiency of a Port improves, it also becomes greener as the actions required to perform a task and resources engaged are minimized. As a result, there is a reduction in emissions and improvement in air quality.

There is also a reduction in fuel costs for the vessels and reduced energy consumption for equipment which reduces the operating expenses. In addition, Digital Twins allow to measure, record and analyse transparent energy/emission Key Performance Indicators (KPI) measurements to comply with environmental regulations and frameworks, jointly supporting maritime logistics decarbonization agendas for the different Port Stake holders.

4. PRACTICAL IMPLEMENTATION OF PORTS

4.0. TOOLS: FLEXTERM DIGITAL TWIN

FlexTerm Digital Twin is a software package that provides a platform where complex logistics systems are studied, designed, optimized, developed, and tested before or while being deployed into production. FlexTerm Digital Twin is developed and owned by Moffatt & Nichol with exclusively retained software proprietary source code and all associated services. It is widely implemented in within the Port industry.

FlexTerm Digital Twin absorbs the particularities of the Ports Systems by allowing the integration of:

- Port
- Equipment
- People
- AIS/VTS Marine Traffic systems
- Automatic control systems
- Terminal operating systems (TOS)
- Port Community Systems (PCS)
- Sensors
- Artificial intelligence and machine learning

The development of Flexterm is focused on bringing simulation and emulation technologies into an open, reliable, extensible, and scalable software environment. The technologies of interest involved in the application of Flexterm Digital Twin are Simulation, Emulation, and Artificial Intelligence (AI) / Machine Learning (ML), which will be further discussed in the following sections.

4.1 Simulation

FlexTerm Digital Twin is a solid and interactive platform to model highly customized operating logics along the whole Port infrastructure lifecycle. The integrated applications include discreet-event simulation analysing equipment productivities under various configurations, obtaining values of Key Performance indicators, comparing performance of different alternatives and operational strategies, evaluating the efficiency of a terminal system, and visualizing terminal operations, among others.

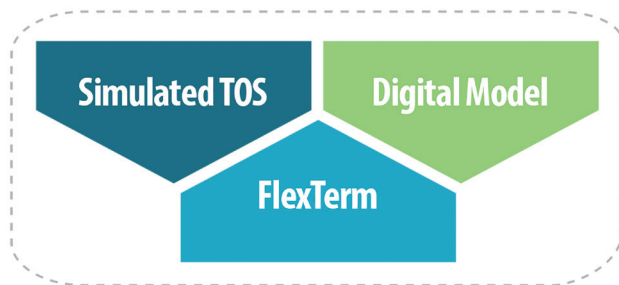


Figure 5. Basic FlexTerm Simulation Scheme.

Source: Moffatt & Nichol.

Discreet-event simulation is based on the concept of ‘events’ that occur within the course of a timeline. Once an event occurs, it ‘triggers’ an action. A valid simulation model matches the events and triggers from real-live logistics system, based on a digital model of the physical reality and a simulated Terminal Operating System (TOS) providing instructions to the modelled terminal assets (See Figure 2). A simulation model that exists virtually can be run much faster than real-time speed allowing a process that may take weeks, months, or years to ‘play out’ in minutes.

The simulation platform allows end-users to introduce and simulate new conditions at the terminal system and to analyse their effects and results, in order to find ways to improve the studied system. Process bottlenecks can be identified and mitigated to improve efficiencies, increase throughput, and decrease costs prior to implementing in the actual facilities. The results of each simulation can be analysed graphically through 3D animation, statistical reports and graphs.

4.2. Emulation

The FlexTerm Digital Twin allows to extend beyond the Simulation capabilities with the integration of the real Terminal Operating System. In this regard, the integrated TOS sends messages within FlexTerm platform as if it was sending to real equipment, and therefore replicating the behaviour of the real facility (See Figure 6).

This represents a step forward in the accuracy of the represented reality, moving to a ‘next stage’ the planning, development, and optimization of operations in Port Facilities, TOS testing and personnel training.

4.3. Artificial Intelligence / Machine Learning

Artificial Intelligence (AI) makes it possible for machines to learn from experience, adjust to new inputs and perform tasks ‘intelligently’. AI can be ‘trained’ to accomplish specific tasks by processing large amounts of data and recognizing patterns in it.

AI is a broad term that includes Machine Learning (ML); Machine Learning is a subset of AI that enables machines to improve at tasks through repetition, allowing a system to recognize patterns and make predictions (‘predictive intelligence’).

The consolidation of multiple interconnected systems into a single data foundation, as enabled by the development of Digital Twin models, allows for more data to become available to apply AI and ML techniques, enhancing Port Management and reducing the required resources by discovering patterns in the data, and making predictions based on the data provided.

In Digital Twins, data is constantly fed to a live database which not only updates the state of the Port Facility but also retains a history of how the Port has operated from the time the data foundation is operational.

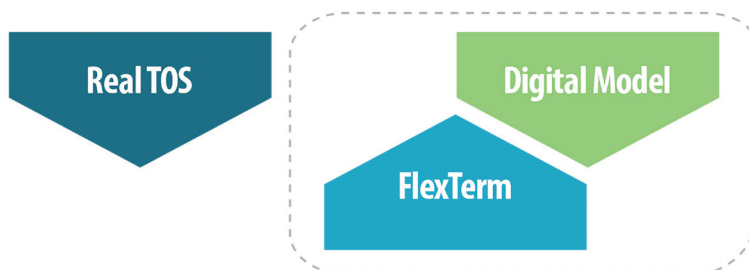


Figure 6. Basic FlexTerm Emulation Scheme.

Source: Moffatt & Nichol.

The data history can be used to train AI and ML models to build an ‘understanding’ of how the Port operates and the interconnection between process Operations, supporting management and prediction of future events with a level of accuracy (‘predictive intelligence’). The constant live feed of data can also be utilized by constantly retraining the AI / ML model to update model accuracy to current conditions.

The Port Industry has therefore a great opportunity ahead with the integration of AI and ML techniques into the Digital Twin platforms, consolidating data in a single, synchronized platform available to the Port Stakeholders, resulting in accurate predictions and prescription in the behaviour, enabling Port Stakeholders to anticipate, plan, prepare, and react to events to allow for more efficient, sustainable and resilient operations.[9]

5. REALIZATION: STAGED APPROACH TO DIGITAL TWIN SMART PORTS USING FLEXTERM TOOLS

As discussed, the implementation of Digital Twin technology provides benefit to the Port Stakeholders across the design, construction, operation, and optimization phases in Ports. The implementation of Digital Twins can be central to the ‘Smart Port’ transformation in the industry, and their realization can be considered in three distinct stages (Figure 7), moving increasingly towards the development of an intelligent platform that supports the exchange of information and integration of applications in the Port environment in a transparent manner (Figure 8) [14]:

5.1. Stage 1: Simulation

The first stage in the Digital Twin implementation is related to the simulation of operations and processes. For the case of the FlexTerm Digital Twin Tool, this would be based in the use of the toolbox-based modelling functions and enhanced 3D graphics. From existing graphical information (CADD, aerials, BIM models), a digital counterpart of the elements to be defined is created (the digital model) (See Figure 4).

5.2. Stage 2: Emulation

The next stage involves the integration of emulation process, with the implementation of the Port Tools and sensed information, including but not limited to TOS configuration, improvement, and testing.

5.3. Stage 3: Platform Approach

The third stage involves the evolution in the use of FlexTerm implementation towards a Platform Approach where the following elements would be involved:

- Integrated Simulation engine for real Digital Twin capabilities
- Open approach to integrate all kinds of data and interfaces with the surrounding eco-system
- Augmented Visualization and flexible reporting for enhanced decision making in combined and complex system structures
- Integration of Machine Learning and AI features supporting continuous improvement and optimization

Figure 7. Steps in the FlexTerm Digital Twin Implementation.

Source: Moffatt & Nichol.

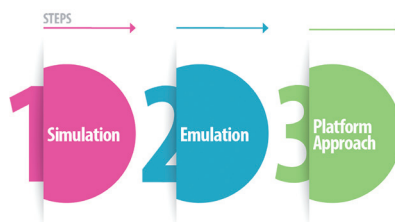
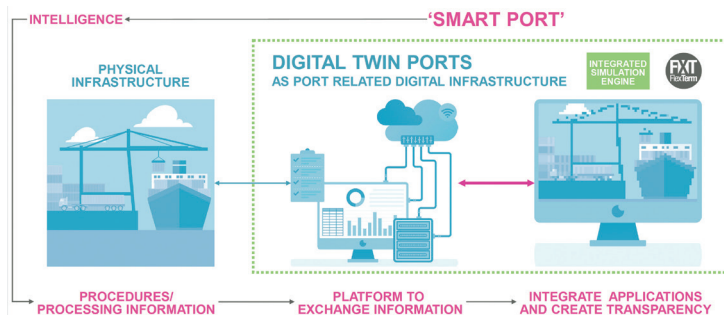


Figure 8. Digital Twin and Port Digital Infrastructure.

Source: Moffatt & Nichol.



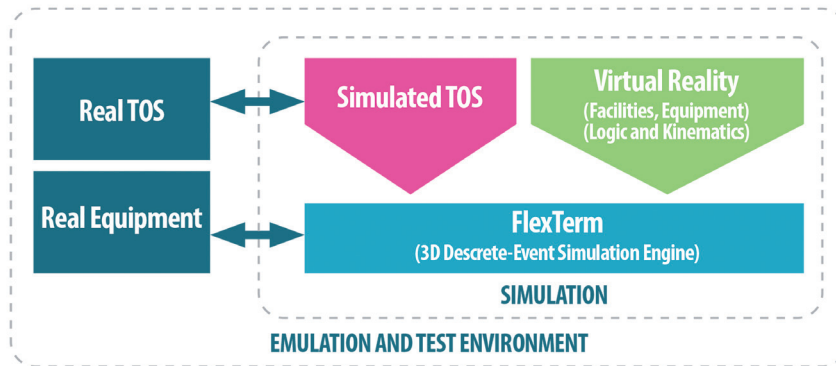


Figure 9. FlexTerm Tool Simulation / Emulation Basic Scheme.

Source: Moffatt & Nichol.

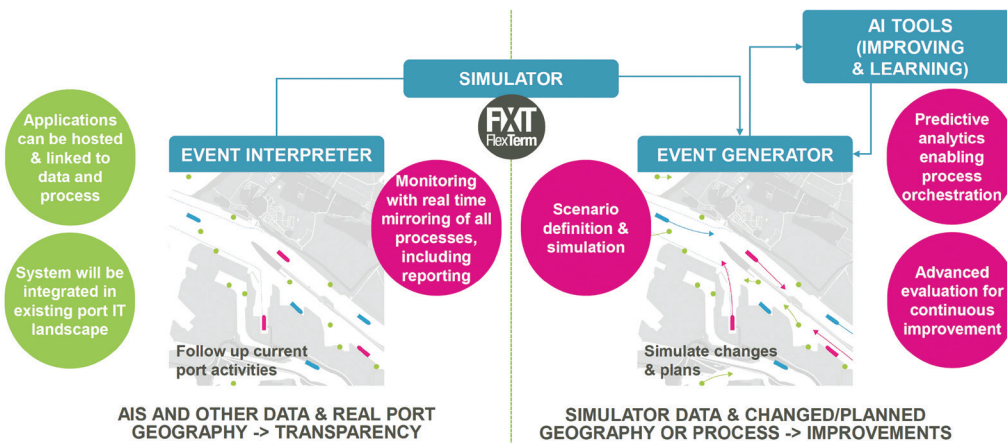


Figure 10. Digital Twin Implementation Phase 3: 'Platform Approach'.

Source: Moffatt & Nichol.

6. DIGITAL TWIN BENEFITS AND VALUE

Summarizing the above, the implementation of Digital Twins brings a unique opportunity to existing and planned Port Facilities to add value along the infrastructure lifecycle, with features scalable from the smaller to the larger facilities, for all types of cargo handling and their combinations, and from the development planning to the daily operation, including as key functionalities:

- Potential for reduction in turnaround times via AI-based requested times of service for the different transportation modes, catalyzing synchromodality – optimizing throughput, productivity, costs and emissions,
- Digital asset management, improving resource allocations, minimizing idle times and maximizing utilization, as well as providing input for proactive Port Planning and utilization improvements,

- Compliance with environmental regulations and frameworks and transparent energy/emission KPIs measurement, to support maritime logistics decarbonization agenda jointly with Port Stakeholders,
- Digital enhanced collaboration and transparency among stakeholders, making decision truly collaborative and managing trade-off with situation awareness,
- Deliver added value to Port Stakeholders, empowering Port Community to holistically makes the Port the choice of customer via its efficiency, flexibility and resiliency to the Supply Chain.

7. CASE STUDIES

This section presents some case studies of the implementation of Digital Twins in the Port Industry.

For these examples, the Digital Twin Platform used for simulation and emulation was the FlexTerm Digital Twin tool presented in Section 4 of this article.

7.1 Simulation Case Studies

Puerto Coronel, Chile

This is an example of the implementation of simulation technology to create a strategic decision-making tool for a complex, multi-purpose Port Facility for the handling of container, break-bulk, and bulk cargoes. The simulation model represented all the operational facilities at the Port, including:

- Berths;
- Container yard;
- Empty container depots;
- Warehouses for cargo consolidation;
- Break-bulk and bulk storage areas;
- Rail yard for unloading cargo;
- Truck logistics park;
- Public and private road networks.

The development of a simulation twin of the existing facility was used to:

- Evaluate the Port system and the dynamic interactions of its various modes (vessel, truck, rail), cargo types (containers, break-bulk, bulk), and the logistic functionalities associated with them.

- Calibrate simulation results with the measured operational data
- Develop user-friendly interface tools to allow use by the operator, including a cost and revenue model that provided the operating margins for the various Port components and for the entire system.
- Provide the stakeholders with 3D visualization of the Port Facility, enhancing understanding of the system changes and potential bottlenecks.
- Integrate with other analytical tools (SAP, Excel) [15].

Operational Analysis and Optimization at Cross-Terminal Road/Rail Simulation, Georgia, USA

In this case, the Flexterm Simulation Tool was implemented in order to optimize traffic patterns and configurations in a complex intermodal connection environment, involving the terminal roadway, rail, and traffic for a terminal handling 6M TEU/year. Simulation considered the terminal roadway, gate, and traffic, allowing to visualize the railway system, develop and test scenarios to estimate future throughput levels and export the outputs for traffic analysis.

Figure 11. Puerto Coronel Port System Model.

Source: Moffatt & Nichol.



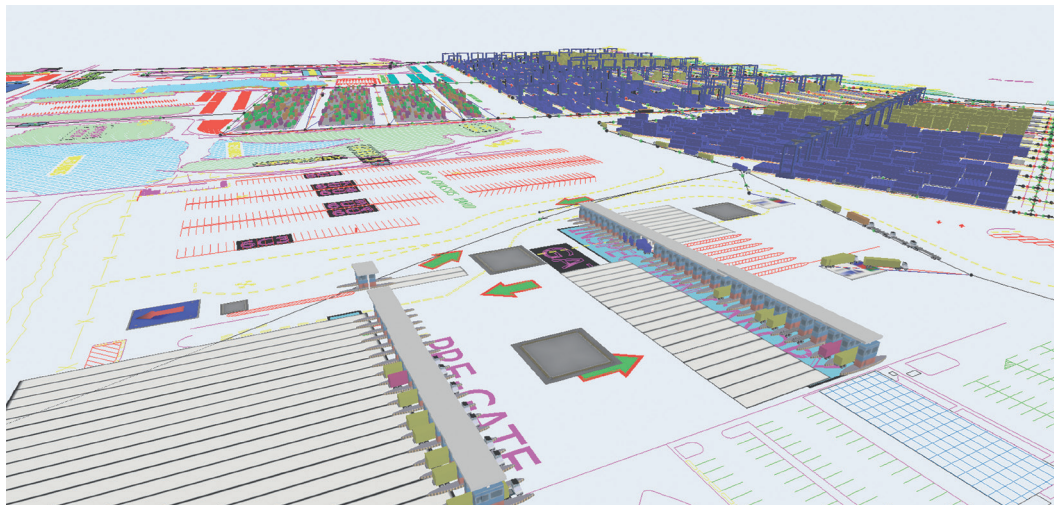


Figure 12. Simulation Visual Interface: Cross-Terminal Road/Rail Simulation, USA.

Source: Moffatt & Nichol.

Terminal Planning:
Tianjin Port Consolidation, Tianjin, China

The implementation of simulation tools was key in the development of the ‘SMART PORT’ initiative at Tianjin Port, in China, for the consolidation of five container terminals. Simulation tools were realized to the existing Port System to optimize the facilities at the system level, in order to improve efficiency, productivity, and capacity, reconfiguring layouts at the different terminal areas (gates, container and inter-modal yards). This implementation was applied to the accurate analysis of terminal capacity and performance, evaluating automated and conventional operation options.

7.2 Emulation Case Studies

Layout Operation and Concept Evaluation:
Port of Singapore Authority (PSA), Singapore

At PSA Singapore, Emulation tools were used to develop a full emulation system for PSA’s proprietary TOS at one of the largest container terminals in the world, emulating a mixed yard truck, Automated Guided Vehicles (AGV), Automated Rail Mounted Gantry Cranes (ARMG), Rubber Tyred Gantry Crane (RTG), single trolley quay crane, overhead bridge crane, and truck gate terminal.

For this purpose, the logics for yard stacking, berth/crane assignments, yard crane balancing and truck pools were developed. The user interface provided real time 3D visual feedback, metrics and reports.

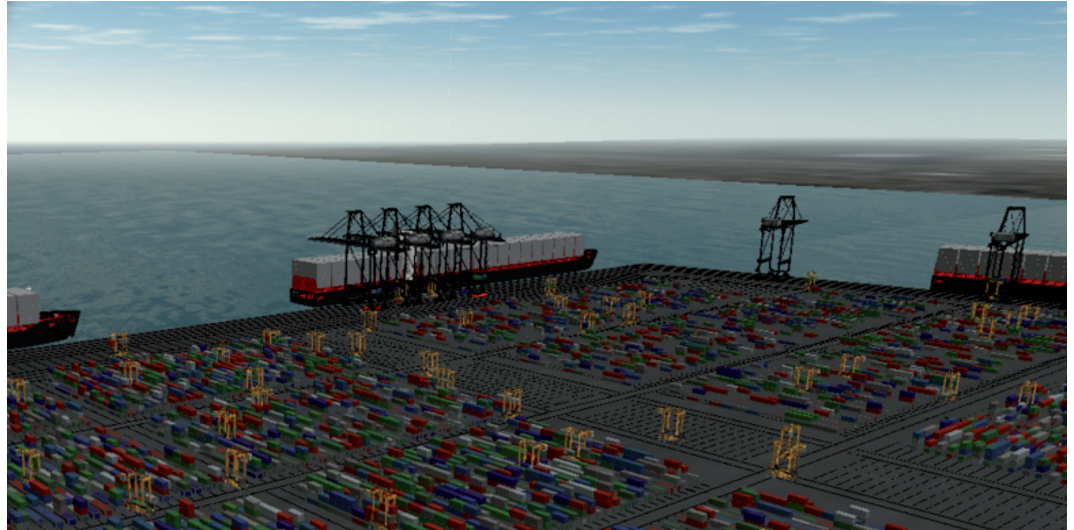


Figure 13. Emulation Visual Interface: General Overview of PSA Terminal, Singapore.

Source: Moffatt & Nichol.

Figure 14. Emulation Visual Interface: Maher Terminals, USA.

Source: Moffatt & Nichol.



Operational Analysis, Optimization, and Continuous Improvement at Maher Terminals, USA

Emulation was developed at Maher Terminals (New Jersey, USA), with a capacity of 3 M TEU/year, with a high focus on optimization of operational efficiency and productivity. For this, one-click emulation scenarios were developed from N4 backup layout/data, allowing also to:

- The continuous use of emulation in order to optimize Navis N4 configuration and parameters;
- Assist in educational missions for staff to optimize efficiency/productivity;
- Enhance continuous improvement of the Operator through evaluation and implementation of terminal improvements;
- Evaluate performance of staff and provide appropriate training.

Figure 15. Layout Planning, Equipment dimensioning and validation of operational requirements for Intermodal facility in Eastern Europe.

Source: Moffatt & Nichol.



7.3 Logistics Case Studies

Layout Planning, Equipment dimensioning and validation of operational requirements for Intermodal facility in Eastern Europe

In this case, simulation tools were used to develop and validate the concept terminal layout for a greenfield intermodal facility, with a design throughput volume of over 1M TEU/year. The implementation of simulation technologies allowed to test the demand business case (in terms of volume, scheduling, and cargo split) for the different railway alternatives proposed. Testing of the proposed options was based capacity definition, evaluation of commitment with rail slot schedules, and defining and optimization of CAPEX investment through estimation of the number of equipment units required to commit with the volume handling requirements.

8. THE FUTURE: CHALLENGES AHEAD IN THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL TWINS IN PORTS

The developing opportunities associated to the information consolidation and processing for the live mirroring, simulation and emulation of facilities continue developing exponentially, with the recent incorporation of AI and ML, already being implemented across the Industry in different operational improvement techniques from Port Authorities, Shipping Lines and Port Operators [9][16][17].

In parallel, the accelerated growth of the implementation of BIM models, IoT and other data collection tools in Ports can lead to complex Port Data environments with duplicated, unstructured data or, in some cases, data unavailability. [9]

In this context, the Digital Twin platform offers the unique potential to solidify a next step towards ‘Smart Ports’ through the consolidation of Port Sensing, IoT tools, and historic and recorded data into a single Digital Twin Platform enhanced with AI/ML functionalities.

Consequently, its implementation will enhance coordination and data accessibility between stakehol-

ders, generating a real-time mirroring, simulation and emulation platform (general ‘Digital Twin’ concept) enabled to ‘learn’ from the process data, predicting and prescribing behaviours with the integration of AI/ML as an intelligence layer (AI enabled).

This further development of the ‘Digital Twin’ concept enhancing the planning short term (Port Logistics) and long term (Port Planning) reaching a Port Digital Platform with the integration of all tools, visualization and integration of AI predictive/prescriptive intelligence that would be processed, graphically represented, and integrated in a single, shared platform, accessible and tailored for the Port Stakeholders, improve their coordination, minimizing idle times enhancing the value chain, and improving Port Logistics efficiency.

This new paradigm in the implementation of Digital Twins in Ports is currently being developed in a partnership between Moffatt & Nichol and the Port of Algeciras, as a proof of concept for a ‘Port Digital Twin AI Enabled’.

Overall, the implementation of Digital Twins in Ports is expected to transform the way that facilities are designed, built, and operated [12], being a key part in the transition to ‘greener’ and ‘smarter’ Ports.

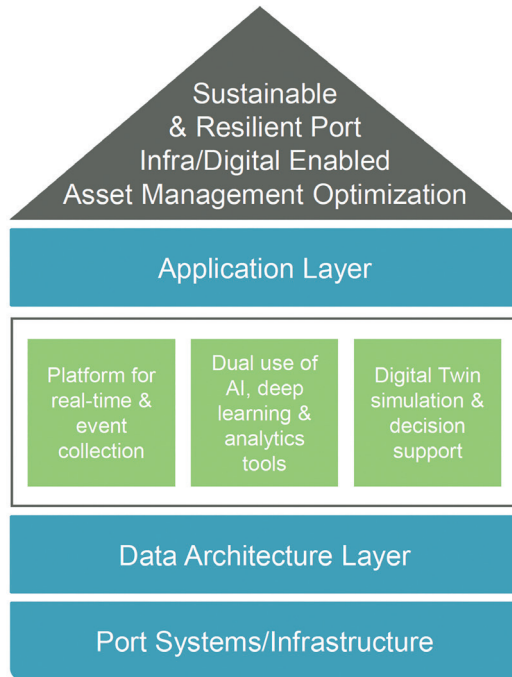


Figure 16. Digital Twin Platform Diagram.

Source: Moffatt & Nichol.

9. CONCLUSION

Digital Twins are a key tool for the development of the industry towards the ‘Smart Port’ concept, with Ports as digitalised and integrated core nodes in the global logistics network that allow end-to-end visibility across the supply chain.

Digital Twin models generate a continuous, synchronized information flow between the physical and digital environment, generating capabilities that extend to the whole lifecycle of Port Facilities, from Port Planning, design, construction, and operations.

This integration provides highly valuable insights on the terminal operation and its potential for improvement at all levels, including the business, operational and environmental performance aspects (optimization). This will lead to a new paradigm in process orchestration with the Digital Twin as a ‘digital control tower’ in the operations through live mirroring.

Additionally, the decision-making process in the short, medium and long term moves to a next stage with the capability to record and analyse information allowing to re-create past scenarios, and test possible scenarios in a risk-free environment through simulation and emulation.

The flexibility in the development of Digital Twins allows for their implementation to be scalable in physical (from a single element to the whole Port System) and development scope, integrating the relevant information to fulfil the decision-maker the requirements of the decision makers, and being adaptable to the existing data sources, such as BIM models, CADD drawings, sensors, IoT tools, other software tools, and the TOS. For this reason, Digital Twins can provide added value to any type of Port Facilities.

As an example of this, the approach to implementation of FlexTerm Digital Twin tool is presented, as realized for logistics systems, intermodal facilities, Port Terminals and whole Port Systems.

Looking at the future, the integration of AI and ML will continue widening the Digital Twin applicability to develop predictive and prescriptive intelligence, enabling Port Stakeholders to anticipate, plan, prepare, and react to events from a proactive, ‘control tower’ standing point, allowing for more efficient, sustainable, and resilient operations.

10. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Mr. Oscar Pernía (Next-Port) and Mr. José Ramón Ruiz (Port of Santander) for their collaboration in the development of this project.

In addition, the authors would like to thank the Moffatt & Nichol team, who also contributed with their valuable experience and ideas to the successful completion of this scope. In particular, we would like to acknowledge the contribution of Mr. Andre Nguyen and Mr. Mauricio Franco.

11. REFERENCES

- [1] **D. Gelernter**, *Mirror Worlds: Or the Day Software Puts the Universe in a Shoebox...How It Will Happen and What It Will Mean*, 1st ed. Oxford University Press, 1991.
- [2] **H. Yao, D. Wang, M. Su, and Y. Qi**, “Application of Digital Twins in Port System,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1846, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1846/1/012008.
- [3] Grandview Research, “Digital Twin Market Size, Share & Trends Analysis Report by End-Use (Automotive & Transport, Retail & Consumer Goods, Agriculture, Manufacturing, Energy & Utilities), By Region, and Segment Forecasts, 2021-2028,” 2021.
- [4] **U. Baldauf and I. Schirmer**, “Extending Internet of Things Enterprise Architectures by Digital Twins Exemplified in the Context of the Hamburg Port Authority,” no. June, 2021.
- [5] **F. de los Santos**, “Port Call Optimisation: A Port Authority’s Point Of View,” *Port Technology*, pp. 17–18, 2021.
- [6] Digital Container Shipping Association (DCSA), “Initiatives: Data & Interfaces,” 2021. <https://dcsa.org/initiatives/data-and-interfaces/> (accessed Jul. 24, 2021).
- [7] **E. Negri, L. Fumagalli, and M. Macchi**, “A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems,” *Procedia Manuf.*, vol. 11, no. June, pp. 939–948, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.198.
- [8] Port of Rotterdam, “Port of Rotterdam Authority joins BIM Basis Infra,” *Port of Rotterdam News Release*, 2021. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/port-rotterdam-authority-joins-bim-basis-infra> (accessed Jul. 21, 2021).
- [9] **O. Pernía**, “Inteligencia Artificial aplicada a Puertos, ‘Dynamic Planning’ y Sinmodalidad,” 2021.

- [10] **M. Franco**, "Smart Ports and How Port Authorities are Becoming Key Facilitators for Collaborative Data Sharing (Paper Proposal)," 2021.
- [11] **C. Boje, A. Guerrero, S. Kubicki, and Y. Rezgui**, "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research," *Autom. Constr.*, vol. 114, no. January, p. 103179, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103179.
- [12] **B. Robins**, "Digital Twins Are Taking Center Stage," 2019.
- [13] **D. Ivanov and A. Dolgui**, "A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0," *Prod. Plan. Control*, vol. 32, no. 9, pp. 775–788, 2021, doi: 10.1080/09537287.2020.1768450.
- [14] **C. Blauert**, "Digital Twin – The Journey to Smart Ports." TOC Global Showcase Conference, 2021.
- [15] **J. Cordeiro, Y. (Alan) Zhang, R. Aguilar, and S. Meza Bordonos**, "Simulation as a Tool for Strategic Decision-making at a Multipurpose Port Complex (Paper Proposal)," 2021.
- [16] **Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras**, "Anuncio de la Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras (APBA) por el que se hace pública la convocatoria de consulta preliminar al mercado en la actuación "inteligencia predictiva y prescriptiva para la optimización de las operaciones logístico-portuarias e," *Boletín Oficial del Estado*. pp. 26798–26800, 2019, [Online]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2019/06/22/pdfs/BOE-B-2019-28133.pdf>.
- [17] **Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras**, "Consulta Preliminar al Mercado: Inteligencia Predictiva y Prescriptiva para la Optimización de las operaciones Logístico-Portuarias en el Puerto de Algeciras," 2019. [Online]. Available: https://www.apba.es/uploads/files/ConsultaPreliminar-Mercado/memoria_descriptiva.pdf.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A PUERTOS, “DYNAMIC PLANNING” Y SINCROMODALIDAD

Óscar Pernía Fernández
*Ingeniero de Telecomunicaciones. Doctor en Ingeniería Industrial.
Socio Fundador Next-Port.*

1. INTRODUCCIÓN

2. PUERTOS INTELIGENTES

- 2.1. Catalizadores de cambio en Puertos
- 2.2. Concepto de puerto inteligente (Smart Port)
- 2.3. Referencias relevantes Puerto Inteligente
 - 2.3.1. Puerto de Singapur: Programas de Transformación Digital
 - 2.3.2. Puerto de Rotterdam: Digitalización de Activos y Gemelo Digital
 - 2.3.3. Puerto de Algeciras: Análítica de Datos e Inteligencia Prescriptiva

3. INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN PUERTOS

- 3.1. Capacidades de la I.A. en Puertos
- 3.2. Referencias relevantes de I.A. en Puertos
- 3.3. Soluciones comerciales de I.A. en Puertos
 - 3.3.1. I.A. en Puertos: Optimización Escala Buques
 - 3.3.2. I.A. en Puertos: Gestión de Atraques y Utilización de Muelles
 - 3.3.3. I.A. en Puertos: Gestión de Almacenamiento de Terminales
 - 3.3.4. I.A. en Puertos: Predictibilidad tiempos de tránsito y trazabilidad de la mercancía

4. “DYNAMIC PLANNING” Y PARADIGMAS SINCROMODALES CON I.A.

- 4.1. Concepto de “Dynamic Planning”
- 4.2. Sincromodalidad y su aplicación a Puertos
- 4.3. I.A. y metodologías de Optimización Sistemática
- 4.4. Desarrollo de competencias digitales para I.A.

5. CONCLUSIONES

6. AGRADECIMIENTOS

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. NOTAS



ÓSCAR PERNÍA FERNÁNDEZ

*Ingeniero de Telecomunicaciones. Doctor en Ingeniería Industrial.
Socio Fundador Next-Port.*

Ingeniero de Telecomunicaciones por la Universidad de Málaga y Doctor en Ingeniería Industrial, especializado en diseño de algoritmos y simulación, por la Universidad de Cádiz, en la actualidad combina su actividad académica en Next-Port (NXP), con sus responsabilidades como Director de Automatización y Digitalización para TIL, la unidad de Terminales del grupo MSC, sita en Ginebra (Suiza), entre ellas el liderazgo del equipo técnico encargado de configurar la instalación automatizada de la Terminal Norte del Puerto de Valencia.

Especializado en la optimización de operaciones portuarias, durante los últimos 20 años su carrera profesional ha estado centrada en la integración de sistemas y la automatización de procesos. Con anterioridad a MSC trabajó en la Autoridad Portuaria de Algeciras, la naviera surcoreana Hanjin Shipping y su terminal TTIA, y la empresa de software y tecnología Navis, perteneciente del grupo finlandés Cargotec.

NXP es una entidad de reciente creación que fundamentalmente centra su actividad en la divulgación y la docencia de la Inteligencia Artificial en su aplicación a puertos y mediante procedimientos de enseñanza-aprendizaje sencillos y prácticos y la constitución de una comunidad internacional de expertos que cubran los aspectos tecnológicos, de proceso y de negocio.

RESUMEN

El presente trabajo proporciona una composición de estado al respecto de la aplicación de la Inteligencia Artificial (I.A.) en Puertos, conceptualizando el impacto esperado de dicha tecnología, a nivel de los beneficios tangibles esperados y los requerimientos que necesitaremos cumplir para su introducción efectiva en nuestro sector y la cadena logístico-portuaria.

Se parte de una reflexión sobre el concepto de Puerto Inteligente, en torno a los catalizadores que están planteando el cambio de modelo de gestión en Puertos, así como una perspectiva al respecto de lo que los distintos Puertos más avanzados están desarrollando, a nivel de programas de transformación y proyectos de innovación.

El trabajo continuará con un análisis del estado del arte, partiendo de definiciones básicas para la Inteligencia Artificial como tecnología exponencial que tendrá un rol primordial en la evolución a Puertos Inteligentes. Se presentan distintas aplicaciones comerciales que en la actualidad se presentan en el mercado de aplicaciones, al respecto de inteligencia de apoyo a la gestión operativa en Puertos.

Como aportación específica, este trabajo desarrolla la aplicación práctica de la Inteligencia Artificial para la implementación del concepto de planificación dinámica (“dynamic planning”), la cual está directamente relacionada con paradigmas de sincromodalidad que los Puertos Inteligentes necesitan aplicar para una aportación más eficiente, segura, sostenible y resiliente a la cadena de suministro oceánica, y también para adaptarse a los nuevos modelos.

PALABRAS CLAVE

Puertos, inteligencia artificial, tecnología, “machine learning”, cadena de suministro, logística, intermodal, sincromodalidad, predictibilidad, sostenibilidad, decarbonización, resiliencia, comercio electrónico.

1. INTRODUCCION

Los Puertos son ecosistemas complejos, centros multidimensionales que forman una pieza clave para las cadenas de suministro de los clientes del Puerto. Las operaciones portuarias y la toma de decisiones asociada garantizan que estas cadenas sean eficientes, sostenibles, resilientes y predecibles. Como catalizadores que sincronizan los diferentes modos de transporte, los Puertos van más allá de brindar servicios físicos a los actores visitantes episódicos y otros clientes para encapsular las capacidades de un centro de información digital integrado [24].

La industria logística-portuaria se enfrenta al desafío de manejar volúmenes de carga crecientes de una forma más segura, más eficiente y consecuente con el medioambiente y el cambio climático – este desafío es clave para los Puertos y globalmente para la industria logística-portuaria [04]. Tendencias como:

- El tamaño creciente de los buques y operaciones asociadas,
- La concentración en alianzas navieras para buscar economías de escala,

- Requerimientos de fiabilidad y visibilidad para nuevos modelos logísticos,
- La introducción de tecnologías de digitalización y automatización.

...determinan la urgencia para los cambios y transformaciones necesarias. En este entorno, A.I. aparece como un elemento catalizador que conecta procesos entre distintos dominios de decisión de forma predictiva: habilitando de manera integrada (“end-to-end”) la sincromodalidad entre los distintos actores [05].

En una industria logístico-portuaria gradualmente más conectada y digital, el disponer un ‘plan B’ es fundamental, ya que los distintos actores operativos se enfrentan inevitablemente a requisitos de rendimiento cada vez más dinámicos y exigentes a nivel de eficiencia, seguridad y sostenibilidad:

- Siendo la I.A. una tecnología que ayudará a cumplir los mencionados requisitos, y que hará nuestra industria más ‘flexible’ transformando la toma de decisiones operativas en nuestro sector: el conocimiento tangible para acelerar su adopción y aprovechar su potencial, es muy limitado.

La situación actual dominada por la pandemia COVID-19 ha tenido un impacto directo en la gestión de las cadenas de suministro globales. Un aspecto que cada vez adquiere más importancia es la robustez y adaptabilidad de nuestras redes logísticas:

- Las herramientas avanzadas que dispondrá la A.I. serán la base para ayudar a analizar situaciones complejas con muchos actores y multitud de variables, y apoyar a los gestores en la toma de decisiones en pro de cadenas logísticas ágiles, flexibles, sostenibles y resilientes.

2. PUERTOS INTELIGENTES

El Puerto Inteligente, o “SmartPort” en Inglés, es un concepto que puede tener múltiples interpretaciones y aplicaciones prácticas:

- Se parte de una necesidad de generar nuevos esquemas de eficiencia, sostenibilidad, transparencia y poder rendir más con la infraestructura existente,
- La arquitectura de un ecosistema digital en un Puerto no es tarea sencilla dada la fragmentación y complejidad de la cadena de valor de la carga... ,
- ...y del mismo modo la falta de estándares que faciliten la puesta en valor de los Datos a través de los procesos existentes y de la interoperabilidad entre sistemas involucrados,
- Y como área fundamental el desarrollo de competencias digitales que requieren de un análisis exhaustivo para combinar nuevas capacidades con el conocimiento existente.

2.1. Catalizadores de cambio en Puertos

Los Puertos se enfrentan a desafíos crecientes al respecto de su eficiencia y su competitividad, pero también al respecto de condiciones de contorno que les hacen estar en el centro de gravedad de los cambios en los modelos productivos y la evolución de la sociedad de consumo.

- Las directrices de ONU, y otras instituciones, requieren una evolución en las metodologías y tecnologías utilizadas en el Desarrollo Portuario,
- Los Puertos necesitan ser relevantes para responder a los nuevos modelos logísticos que utilizan la Digitalización como su base de operación,
- Las nuevas reglamentaciones y marcos regulatorios para la operación sostenible en Puertos requieren planteamientos serios de actuación,

- La tendencia global al respecto de la estandarización de los procesos e intercambio de datos en nuestra Industria requiere su digitalización,

En la tabla 1 se listan los principales catalizadores de cambio que en la actualidad trasladan a los Puertos, y sus comunidades logísticas y productivas, requerimientos profundos de transformación.

2.2. Concepto de Puerto Inteligente (SmartPort)

Los Puertos tradicionalmente han sido desarrolladores y gestores de la infraestructura física del Puerto, en algunos casos también de la infraestructura operativa, dependiendo del modelo de gestión en cada caso. El panorama actual, articulado por los catalizadores de cambio descritos en el apartado anterior, establece nuevas condiciones de contorno para la evolución a Puertos Inteligentes: los cuales utilizan la tecnología y el efecto impulsor de la digitalización para establecer:

- Una eficiencia y competitividad mejoradas, y estrategias efectivas de optimización (hacer más con lo mismo),
- Un desarrollo de la infraestructura y la planificación de la misma aprendiendo sobre cómo ha rendido el Puerto históricamente,
- Cada vez más importante, el apoyo a la decarbonización del transporte y los cambios estructurales para frenar el cambio climático – siendo nuestra industria en sector fundamental en ese camino,
- Y en línea con lo mencionado anteriormente, el apoyo transparente a cadenas de suministro con visibilidad en tiempo real que sean flexibles y resilientes (también con todo lo aprendido durante la pandemia que aún estamos pasando);

Y estos son los pilares sobre los que se construye un Puerto Inteligente, que pone en valor no solo la infraestructura física pero también la infraestructura digital, que hace uso de la tecnología, los datos y los sistemas para crear nuevos paradigmas de inteligencia que hagan la cadena logística portuaria más eficiente, competitiva pero también más segura, más sostenible y resiliente.

A nivel de arquitectura tecnológica es muy importante que la reingeniería de los sistemas se haga de forma sincronizada con la arquitectura de datos y con la eventual reingeniería de los procesos – los cuales van a pasar a ser gestionados de una forma más sistemática y orientados a la digitalización y la automatización,

Tabla 1. Puertos Inteligentes, catalizadores de cambio.

Fuente: Next-Port, 2021.

<p>Comercio electrónico (“e-commerce”)</p> <p>A los Puertos les ha surgido desde hace más una década, el desafío de afrontar los nuevos requerimientos del comercio electrónico: muy bien ilustrado en lo que Amazon ha supuesto como evolución a una gran corporación que cubre todos los eslabones de la cadena de suministro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En especial con un sistema y modelo productivos que parten del entendimiento exhaustivo de los que quiere el consumidor, y de lo que solicita: evolucionando por tanto a ser una red dinámica que une información, personas e ideas – la cual se sustenta en una red logística de suministro “end-to-end” [15]; <p>Como permanecer como un actor relevante con la disrupción de estos modelos de negocio, y en particular nuevos actores disruptivos como Amazon o Alibaba. Ya en 2017 Jeff Bezos enfatizaba lo que pretendían y lo que se está extendiendo globalmente con este tipo de plataformas.</p>
<p>Desarrollo Sostenible</p> <p>Empezando por el rol que los Puertos tienen en la economía mundial, y el impulso al Desarrollo Sostenible de todos los sectores productivos – a los cuales los Puertos sirven.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Somos importante parte de los objetivos que la ONU ha determinado para mejorar el Mundo en el que vivimos, y eso es una gran responsabilidad; <p>Y más allá de ella, las prioridades al respecto del impacto de nuestros Puertos en el Medio Ambiente y el Cambio Climático, son prioridad urgente para todo lo que vamos a hablar hoy – ya que existe un nexo de unión muy estrecho entre Digitalización, y tecnología en general, y la de carbonización del transporte y la logística [07].</p>
<p>Descarbonización y Medioambiente</p> <p>Como ejemplo al respecto de nuestra prioridad en la decarbonización del transporte y nuestra misión para mejorar el impacto medioambiental de la actividad en Puertos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La evolución de los megabuques al respecto de las emisiones y el consume de energía, y las normativas que se están extendiendo para minimizar el impacto en la huella de carbono y reducir a menos de la mitad las emisiones, <p>También con todo lo que se está desarrollando al respecto de combustibles y fuentes de energía alternativos, y el futuro de buques que serán mucho más amigables con su impacto en los Océanos. Sobre todos desde las principales líneas navieras existe una tracción importante que está impulsando los desarrollos tanto a nivel de la ingeniería naval, pero también al respecto de los aspectos de eficiencia energética y los relacionados con la interfaz buque/puerto [06].</p>
<p>Estandarización de Procesos y Datos</p> <p>La necesidad de simplificar la actividad en Puertos está llevando a un movimiento Global por parte de muchas instituciones, para estandarizar el intercambio de datos que sustenta la Digitalización y del mismo modo la uniformidad, en la medida de lo posible, en los procesos que apoyan los flujos físicos y de información para el paso de mercancía por el Puerto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este ejemplo concreto, DCSA combina el 70% del volumen global de contenedores y todas las Navieras están colaborando para avanzar en distintas áreas en donde el transporte por contenedor sea mas estándar, teniendo como motor de cambio fundamental la digitalización de los procesos y las interacciones entre actores de la cadena logístico-portuaria [21]. <p>En paralelo y colaboración con DCSA, la organización TIC 4.0 reúne a los principales operadores de terminal, contando también con el apoyo de PEMA y FEPORT [25].</p>
<p>Nuevos Modelos Logísticos (“Just-In-Time”)</p> <p>Más allá de afrontar esta nueva realidad: como ser capaz de responder a la transformación de la industria del transporte y de cómo los nuevos modelos de negocio requieren de los Puertos no solo eficiencia y competitividad, pero también transparencia y fiabilidad, y cada vez más una respuesta consecuente al cambio climático y la decarbonización de nuestra industria.</p> <p>Empresas que son objeto de estudio como Inditex, las cuales establecen modelos de producción ‘Just-In-Time’ y cadenas de suministro sin costuras para dar una respuesta adecuada a su modelo de negocio: el cual como explica su CEO en esta cita se basa en no solo en disponer el producto para el consumidor la más rápido posible – pero en su caso ser capaz de entender el mercado e integrar la fabricación o manufacturación, con la logística y el diseño.</p> <p>En concreto para Inditex ser capaz de poner un producto en la tienda de ropa en dos semanas, y más importante leer el consumo y ser capaz de extender la producción, cambiar el diseño o cancelar el producto [16].</p>

de forma que la decisión humana evolucionara significativamente, pasando a la parte analítica, de optimización y de monitorización técnica de procesos y plataformas.

- De este modo establecer desde el principio una Arquitectura de Datos consistente con tecnología moderna, y tan estándar como sea posible es clave – esta es una de las bases de los planes de

Puertos Inteligentes en el comienzo de los programas de digitalización [12],

- Otra pieza importante es la definición de Interfaces entre Sistemas y también las proporcionadas por los mismos para extraer Datos (APIs), ya que los Puertos han comenzado a disponer ecosistemas complejos con múltiples plataformas que tienen que interoperar para apoyar la toma de decisiones [21],

- Y finalmente la versión 4.0 del ecosistema portuario va mucho más allá del actual 1.0 que dispone aplicaciones aisladas, y que limita el progreso de la digitalización y el progreso de la automatización, o de cualquiera de las tecnologías exponenciales citadas en este trabajo [25];

A través de estos tres básicos pasos en la evolución a Puerto Inteligente se dispondrá de una base digital y de estandarización que habilite mecanismos de interoperabilidad entre sistemas y plataformas, pero también de conexión entre distintos dominios de decisión como veremos más tarde al hablar de la Inteligencia Artificial, pero en general la aplicación efectiva de cualquiera de las tecnologías exponenciales que nos ocupan.

2.3. Referencias relevantes Puerto Inteligente

2.3.1. Puerto de Singapur:

Programas de Transformación Digital

El ejemplo del puerto de Singapur enfatiza el hecho de que la transformación digital requiere un planteamiento integral, completo o holístico, y la efectividad de los programas depende altamente en una estrategia multidimensional que cobra las distintas facetas al respecto de la tecnología, los procesos y la organización.

- Empezando por los Datos, y la estrategia, la gobernanza y las plataformas asociadas.
- La capacidad de integrar el ecosistema en el Puerto a través de dichos Datos y Tecnologías asociadas.
- Con esto, ser capaz de cambiar el modo de trabajo al respecto de la innovación y aceleración de iniciativas.

Encima de lo cual se establece un núcleo de digitalización que incluye Operaciones como parte central, funciones de soporte y también las funciones de orientación al cliente, personalización de servicios logísticos específicos o incluso nuevos modelos de negocio – y nuevas fuentes de negocio que requieren de innovación (prototipado, proyectos “lighthouse”...etc).

*2.3.2. Puerto de Rotterdam:
Digitalización de Activos y Gemelo Digital*

El papel inicial de la digitalización es el de disponer la conectividad, hoy día acelerado por tecnologías como las conexiones móviles, el Internet de las Cosas y los sensores asociados – los cuales proporcionan una cantidad de datos con mayor calidad, frecuencia y capacidad de respuesta. Ese es el paso inicial de la digitalización de modo que transicionamos a tener nuestros procesos conducidos por esos Datos.

El segundo paso es el de conectar dichos procesos por aplicaciones que utilizan dichos Datos para sistemas que ayuden a la toma de decisiones, y que puede tener distintas áreas de aplicación como son las relacionadas con la optimización de la escala de buque en Puerto, o la mejora en la productividad y utilización de maquinaria, o simplemente disponer de mecanismos que utilicen dispositivos móviles para chequear o analizar ciertos procesos.

En este caso un Proyecto en el Puerto de Rotterdam: por parte de la empresa de geolocalización, GIS, ESRI que, a través de los datos correspondientes a la localización en tiempo real de activos y procesos para disponer herramientas para la toma de decisiones, combinando los más de 1,000 mapas que tienen registrados con la utilización de información en tiempo real desde distintas fuentes de Datos.

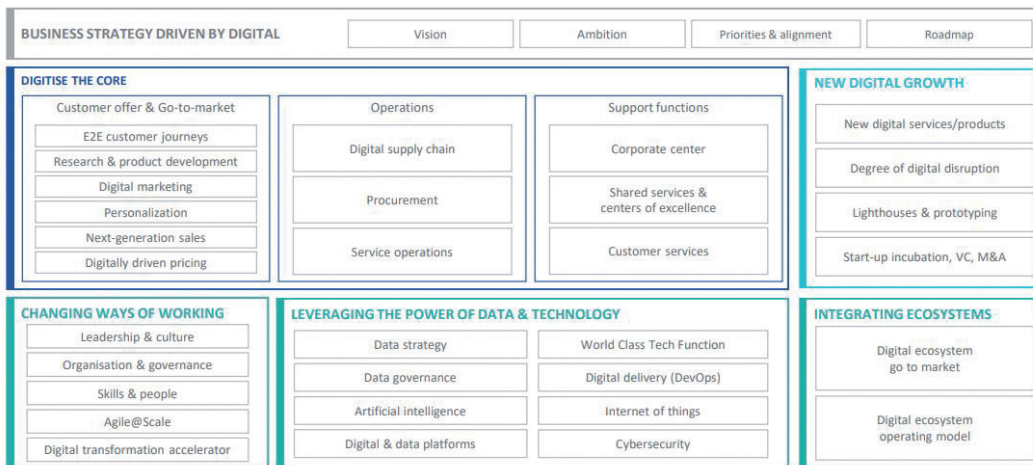


Figura 1. Programa Transformación Digital, Puerto Singapur.

Fuente: 2020.

Figura 2. Proyecto GIS y Gemelo Digital, Puerto Rotterdam.

Fuente: ESRI, 2018.



2.3.3. Puerto de Algeciras:
Analítica de Datos e Inteligencia Prescriptiva

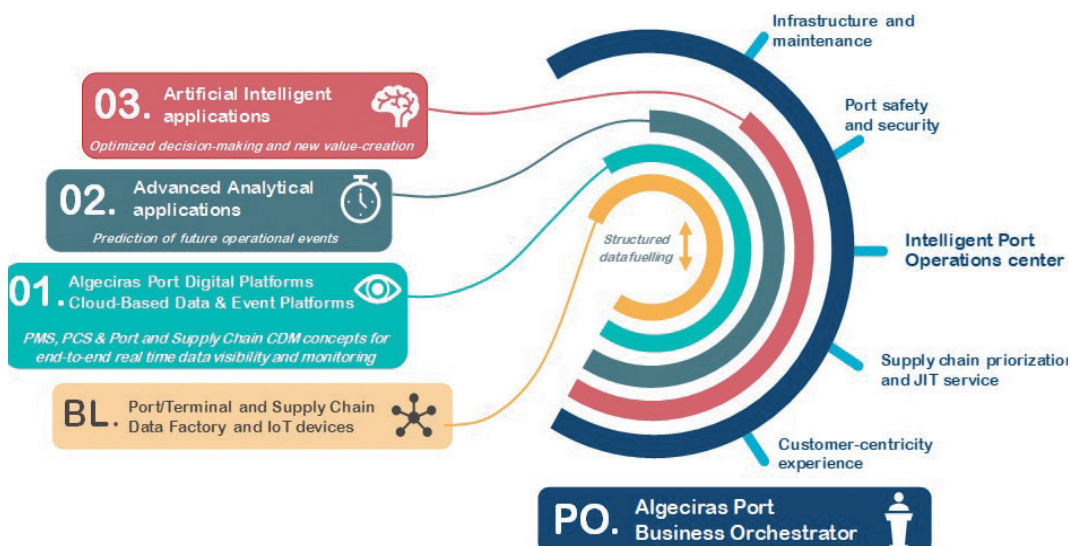
EL puerto de Algeciras, en base a lo que se ha explicado anteriormente, plantea la implementación de nuevos paradigmas de Puerto Inteligente desde una estrategia que pasa por:

- Construir una Arquitectura de Datos moderna y estructurada que sirva todo el ecosistema,
- Sobre esta base construir una capacidad analítica y de Inteligencia que ayude a la toma de decisiones,
- Y todo esto orientado a la reingeniería de Procesos y el establecimiento de nuevas prácticas operativas,

En todo este proceso pasando la Autoridad Portuaria de ofrecer infraestructura y gestionar procesos documentales, a convertirse en un socio activo para la cadena de suministro y sus Clientes al respecto de los distintos parámetros de rendimiento de la misma. Y como parte de esta estrategia para ‘hacer los datos utilizables’ disponer una semántica clara sobre el ecosistema portuario, que pueda habilitar el desarrollo y entrenamiento de algoritmos; o el establecimiento de reglas de negocio que permitan optimizar los distintos procesos operativos y disponer gradualmente herramientas de ‘inteligencia prescriptiva’ [18].

Figura 3. Proyecto Inteligencia Prescriptiva, Puerto de Algeciras.

Fuente: APBA, 2019.



3. INTRODUCCION A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN PUERTOS

3.1. Capacidades de la I.A. en Puertos

La I.A. proporcionará las capacidades necesarias para que los Puertos evolucionen para ser más inteligentes, más resilientes, competitivos y más sostenibles: respondiendo a los retos establecidos por el Cambio Climático y más en concreto aportando las capacidades que necesitamos para transformar los Puertos:

1. Reconocimiento de patrones para identificar las mejores estrategias aplicadas anteriormente, para poder aplicar las configuraciones y acciones óptimas,
2. Predicciones basadas en datos y pronósticos para poder mirar hacia el futuro, de cara a ser prescriptivo con asignación de recursos y tiempos de servicio,
3. Adaptación y flexibilidad cuando algo no va según lo previsto, para poder introducir cambios en la planificación minimizando el impacto en rendimiento,
4. Autoaprendizaje, comprensión precisa y diagnóstico de la realidad frente a los usuarios, para poder manejar excepciones y contingencias sistemáticamente,
5. Análisis profundo y correlación entre dominios, para producir recomendaciones precisas a los usuarios para una toma de decisiones “educada” y guiada.

Por tanto, partiendo de la base de que I.A. aporta las características para hacer nuestras operaciones más eficientes y predictivas, que dichas operaciones sean más sostenibles consumiendo menos fuel y emitiendo menos, y para hacer nuestros procesos de planificación y ejecución más dinámicos y resilientes [26].

Sin embargo, mientras esta certeza global de que I.A. transformará todas las industrias en los próximos años es fiable, su aplicación a la cadena logística-portuaria tiene aspectos específicos que deben ser tenidos en cuenta:

- Los datos necesarios para aplicar A.I. no son accesibles o están aislados: y cuando están disponibles no son de calidad o no están estructurados,
- Los puertos necesitan consolidar ecosistemas conectados e inteligentes, con las distintas aplicaciones existentes garantizando compartir datos y su interoperabilidad,

- La organización/conocimiento de los distintos Actores deberá evolucionar, con roles y competencias para manejar cantidades masivas de datos y para controlar algoritmos.

Estos aspectos serán analizados en el capítulo de aportación específica, proporcionando una reflexión tanto sobre los problemas existentes como de las soluciones disponibles.

3.2. Referencias relevantes de I.A. en Puertos

Como referencias relevantes se citan a continuación algunas iniciativas y publicaciones por parte de Actores relevantes a nivel internacional: no a nivel formativo, pero a nivel de la aplicación de I.A. por parte de los actores de la cadena logístico-portuaria:

- Diversos Puertos disponen proyectos y programas donde I.A. es un factor conductor clave:
 - En el Puerto de Hamburgo¹ diferentes iniciativas en I.A. (y ‘Machine Learning’) para predecir el tiempo de estancia (‘dwell time’) y la conectividad de los contenedores en las Terminales del grupo HHLA, y para optimizar la productividad y la capacidad;
 - El Puerto de Singapur² lleva varios años integrando tecnologías como IBM (‘Watson’) en el proyecto SAFER, para mejorar la seguridad y eficiencia en el Puerto con analíticas de datos avanzadas para detectar movimientos de buque o los tiempos de servicio de Prácticos;
 - En el Puerto de Rotterdam³ las iniciativas al respecto de la optimización de la escala del buque en Puerto, Avanti y Pronto; han evolucionado en la ‘start-up’ PortXchange la cual proporciona servicios avanzados utilizando I.A. para predecir tiempos de servicio;
- Las principales Navieras promocionan la utilización de I.A. para reforzar sus estrategias de nivel de red logística-portuaria:
 - Maersk⁴, dentro de su estrategia de Digitalización, se encuentra claramente centrando sus esfuerzos en I.A. para poder adaptarse a la ‘revolución digital de la industria logística’ e invirtiendo en ‘start-ups’ como Twill para crear nuevos productos basados en I.A.;
- Los principales Terminalistas están invirtiendo decididamente en las áreas relacionadas para poder

mejorar sus herramientas de gestión de activos para optimizar su eficiencia y resiliencia:

- Recientemente APM Terminals⁵ ha creado en Algeciras un centro de competencia para soporte IT a nivel global, desde el cual establecen mecanismos de monitorización avanzada de sistemas a través predicción avanzada con I.A. (Machine Learning);
- Las compañías que lideran la revolución digital de la industria, anteriormente mencionadas:
 - como Inditex⁶ ha conseguido implementar una red integrada entre el diseño, la fabricación y la comercialización de sus productos, produciendo tiempos de respuesta e inteligencia en su negocio que son objeto de estudio en Universidades como Harvard⁷,
 - como Amazon⁸ creando ‘una red dinámica entre los clientes finales y sus preferencias; y la red logística de transporte de respuesta’. La compañía se está transformando en torno a las capacidades de I.A. para innovar en torno al cliente de su plataforma de comercio electrónico.

3.3. Soluciones comerciales de I.A. en Puertos

Las soluciones de software de I.A. en Puertos han evolucionado de forma acelerada en los últimos cinco años, observándose una madurez creciente tanto a nivel de proposiciones de valor como a nivel de arquitecturas tecnológicas. A continuación, se realiza un repaso a las principales referencias estudiadas al respecto de soluciones comerciales que se encuentran en fase de prueba de concepto o adopción temprana, a modo de estado-del-arte.

3.3.1. I.A. en Puertos: Optimización Escala Buques

Un área crítica de predicción es la relativa a la llegada del buque a puerto (ETA, Estimated Time of Arrival): el cual es un parámetro muy importante para la coordinación relativa a los procesos de apoyo a la escala en buque, tanto en llegada como en salida, a los denominados servicios técnico-náuticos como el practicaje, remolque o amarre, y otros servicios demandados por el buque como el suministro de energía o suministros. Existen esfuerzos relativos a la estandarización de los eventos que articulan la escala del buque en Puerto, como los llevados a cabo por “Digital Container Shipping Association” (DCSA) o “International Taskforce Port

Call Optimization” (ITPCO). Existen distintas empresas que ofrecen servicios de predicción para mejorar la predictabilidad de la llegada del buque a Puerto, una de ellas Wartsila⁹ las cuales proporcionan hardware y software para la monitorización y control de la navegación. Gran parte de la proposición de valor se encuentra apoyada en algoritmos avanzados de predicción, los cuales prometen establecer una conexión efectiva entre los cálculos de navegación y los procesos de coordinación de llegada y salida de Puerto, implementando el concepto de “Just-In-Time Vessel Arrival”¹⁰.

3.3.2. I.A. en Puertos: Gestión de Atraques y Utilización de Muelles

Un área crítica para las decisiones que se toman entre línea naviera y terminal de contenedores, al respecto de los parámetros operativos en torno a la operación del buque en la terminal: un nivel de acuerdo de servicio (SLA) principalmente determinado por la ventana de estancia en muelle (“berth window”) y que se encuentra determinada por las decisiones en la parte de la línea naviera al respecto de ETA-ETD y número de contenedores a cargar/descargar, y por parte de la terminal al respecto de la asignación de recursos operativos tales como número de grúas de muelle, asignación de espacio en patio de almacenamiento así como la conexión de los contenedores de importación/exportación asociados a cada escala en particular. La asignación de espacio y tiempo para la ventana de operación es por tanto un problema complejo, que confía en predicciones que las aplicaciones de planificación realizan, como las relativas al “Terminal Operative System” (TOS) – en las cuales las empresas proveedoras como Navis¹¹ ofrecen módulos de optimización. Existen empresas de nueva creación o startups, que han tomado este caso de uso como un nicho de oportunidad para aprovechar capacidades avanzadas de computación en la nube o inteligencia artificial para disponer módulos de optimización que extienden las capacidades del TOS con inteligencia artificial: son los casos de PortChain¹² o Awake.AI¹³.

3.3.3. I.A. en Puertos: Gestión de Almacenamiento en Terminales

Un área crítica para las terminales de contenedores es la gestión del patio de almacenamiento. Un concreto en las terminales de contenedores la gestión del tiempo de estancia del contenedor (“dwell time”, DWT) es clave, ya que directamente determina la

capacidad de manipulación de la instalación portuaria: dicho parámetro se encuentra influenciado por decisiones que se toman conjuntamente entre línea naviera y terminal, al respecto del siguiente puerto de destino o de la siguiente modalidad de transporte. Para las terminales la gestión del patio de contenedores, los espacios asociados por línea naviera o por servicio es complicada: tradicionalmente asociada a los “Terminal Operating Systems” (TOS), las configuraciones asociadas a los módulos de optimización son muy complejas y disponen una dependencia alta con los servicios de soporte de los proveedores. Dado que en el patio de almacenamiento de contenedores se tienen escenarios de repetitividad periódica, este es un área de actuación en donde la inteligencia artificial ha sido planteada, tanto desde el punto de vista académico como recientemente desde el punto de vista comercial, con módulos de optimización como los correspondientes a Avlino¹⁴, los cuales aplican algoritmos avanzados de predicción para facilitar la resolución de problemas asociados a la planificación de línea de muelle y patio de almacenamiento de contenedores.

3.3.4. I.A. en Puertos: Predictibilidad tiempos de tránsito y trazabilidad de la mercancía

Un área crítica para los operadores logísticos y los dueños de la mercancía es la fiabilidad de sus cadenas de suministro: y la necesidad subsecuente para organizar la información y hacer los datos asociados más accesible para que proporcionen una accionabilidad y predictibilidad mejoradas. Empresas como ClearMetal¹⁵ han venido desarrollando plataformas de inteligencia que proporcionan datos y desarrollan analíticas predictivas. Con el principal objetivo de reducir la complejidad y la incertidumbre para los usuarios que requieren que los Puertos dejen de ser ‘cajas negras’.

En la misma dirección, la industrialización del transporte con tecnologías de posicionamiento y la evolución en sistemas de información geográfica (GIS) ha establecido nuevas oportunidades para proporcionar visibilidad en la cadena de suministro a través de la fusión de los datos geoespaciales de los activos de las cadenas logísticas, con los eventos que certifican la planificación y ejecución de los distintos procesos logísticos. EN este nicho de aplicación se sitúan empresas como ESR¹⁶ desarrollando plataformas globales de visibilidad para solucionar, en parte, los problemas mencionados al respecto de la visibilidad y transparencia para operadores logísticos y cargadores.

Algunas de estas tecnologías y empresas confluyen conceptos pioneros como los establecidos por Project44¹⁷, el cual combina distintas tecnologías y casos de uso para innovar en la trazabilidad y visibilidad en tiempo real de la carga a su paso por el Puerto.

4. “DYNAMIC PLANNING” Y PARADIGMAS SINCROMODALES CON I.A.

Como se ha mencionado anteriormente, muchos Puertos se encuentran inmersos en estrategias y proyectos para desarrollar su concepto de Puerto Inteligente: con el objetivo de generar oportunidades para expandir sus capacidades de manipulación de carga y para innovar con nuevos paradigmas de gestión portuaria modernos, que incluirán la reingeniería de sus plataformas operativas: como se ha referenciado anteriormente al respecto de Sistemas de Comunidad Portuaria (“Port Community Systems”, PCS) o de Sistemas Operativos de Terminal (“Terminal Operating System”, TOS): aprovechando el potencial de las tecnologías exponenciales que nos ocupan – la computación en la nube, internet de las cosas (IOT), comunicaciones móviles 5G, gemelos digitales y muy fundamentalmente la inteligencia artificial (I.A).

- El Puerto, utilizan el potencial de la tecnología para optimizar su eficiencia operativa y su competitividad – empoderando conceptos de toma de decisiones colaborativas (“Collaborative Decision Making”, CDM) y prácticas de mejora continuada de procesos (“Continuous Improvements”, CI) a través del ecosistema portuario, persiguiendo inducir visibilidad en tiempo real y transparencia operativa. En definitiva, proporcionando un mayor valor a los concesionarios y clientes del Puerto, y a los clientes de estos, empoderando a la comunidad portuaria para convertir el Puerto en cuestión en la elección de sus clientes a través de sus eficiencia, flexibilidad y resiliencia a sus cadenas de suministro.
- Del mismo modo, tradicionalmente en Puertos las capacidades de las instalaciones portuarias, y los trabajos asociados a la extensión de los accesos terrestres, líneas de atraque en muelle o zonas de fondeadero: son desarrolladas en modo reactivo, al respecto de presiones crecientes al respecto de la competitividad o crecimientos de volumen puntuales. Siendo crítico el disponer de herramientas de Desarrollo inteligente y sostenible para los Puertos, así como su conexión a las zonas de influencia de estos (hinterland),

asegurando planteamientos que se proporcionen esquemas de desarrollo sostenibles y amigables con el medioambiente.

4.1. Concepto de “Dynamic Planning”.

Como se ha explicado, las capacidades habilitadas por la I.A. encajan con las funciones necesarias para hacer los Puertos más inteligentes. Un área de aplicación clave es al respecto de cómo los Puertos toman decisiones para planificar y ejecutar el paso de los buques y de la carga por el mismo, y como las metodologías actuales de planificación y ejecución de las operaciones pueden ser transformadas con la introducción de I.A.:

- En Planificación, las decisiones se basan en patrones repetitivos ya que los buques realizan una escala periódica al Puerto, con parámetros al respecto de la llegada y salida, los patrones de estiba de carga, los parámetros de siguiente puerto de destino, peso de la carga...etc
- Proporcionando la identificación y análisis de dichos patrones, oportunidades para producir recomendaciones al respecto a los planificadores. Los cuales, de facto, aplican su experiencia desde la multitud de ocasiones en las que han afrontado situaciones que perciben como similares.

• En la Ejecución, la operación en Puerto está sujeta a distintas variables que normalmente fluctúan y por otro lado requieren de una coordinación sincronizada en la mayoría de los casos: como en el caso de los distintos servicios que tienen que servir al buque en su llegada a Puerto (practicaje, remolque, amarre...etc) o la conexión de la carga entre distintos tipos de transporte (buque transoceánico con buque “feeder” o tráfico rodado)

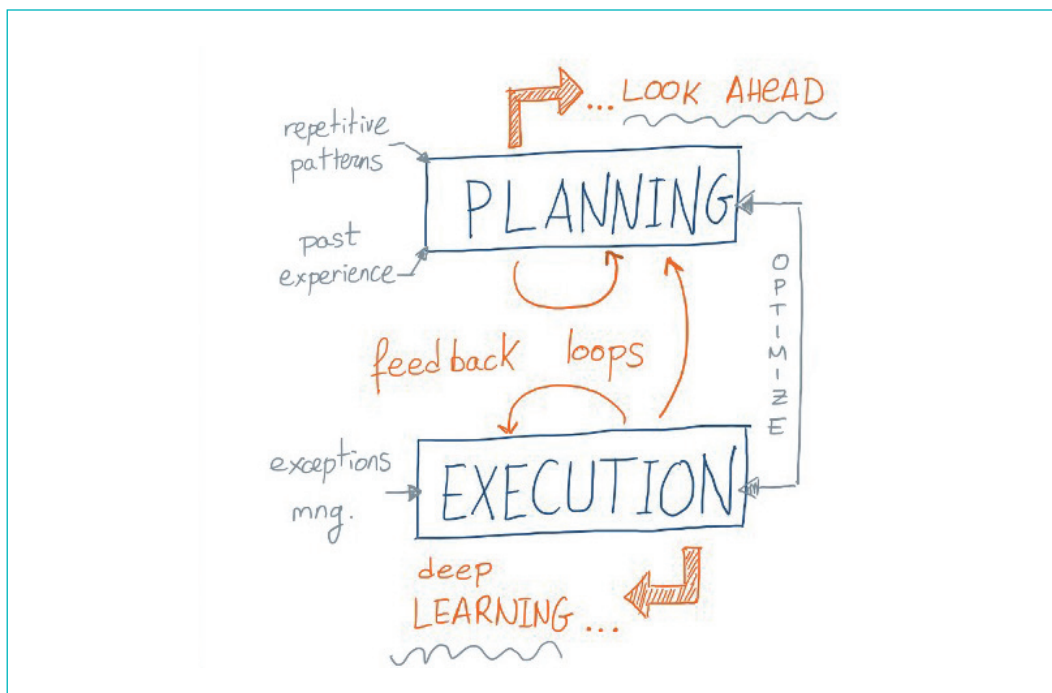
- Estando la diferencia en el rendimiento y calidad de servicio determinada principalmente a partir de cómo se manejan los cambios inherentes a la planificación, como se administran las excepciones y qué tan efectivos son sus procedimientos de contingencia (el envío de contenedores es una industria de ‘Plan B’).

En el siguiente diagrama se ilustra la explicación proporcionada para el concepto de “Dynamic Planning”.

Siendo las operaciones portuarias una escala creciente, como por ejemplo con las dimensiones de los nuevos buques portacontenedores – el disponer de herramientas que puedan asistir en la planificación y ejecución de las operaciones asociadas se hace necesario: ya que las posibilidades de procesar con herramientas manuales las cantidades de información asociadas, y las posibilidades de detectar y corregir errores en dicha información o cambios como los mencionados,

Figura 4. Diagrama Conceptual “Dynamic Planning”.

Fuente: Next-Port, 2021.



se hace no sostenible – más si cabe en una industria cada vez más conectada que requiere la interacción entre procesos de planificación de multitud de actores, con una orientación al tiempo real para gestionar el cambio y acercar la ejecución al tiempo real.

Así es como surge la necesidad del “Dynamic Planning” (planificación dinámica, o en tiempo real) – concepto planteado por numerosas aplicaciones de forma limitada a áreas específicas o tecnologías específicas en puertos o terminales de contenedores, pero con la introducción de la I.A. y su poder transformador adquieren una dimensión integrada y holística.

En resumen, el concepto planteado para la I.A. en Puertos con “Dynamic Planning” es el de mejorar y conectar la planificación y la ejecución de las operaciones:

- Permitiendo que “todo el sistema de planificación” “mire hacia el futuro”, creando bucles de retroalimentación desde la ejecución y siendo prescriptivo a las oportunidades de cuello de botella u optimización que pueden ser identificados desde el análisis inteligente de la información de planificación y los patrones existentes en la misma.
- Permitiendo una toma de decisiones educada, disponiendo sistemas que avisen a los operadores con predicciones y alertas para cambiar parámetros específicos de la operación o para adminis-

trar excepciones con procedimientos predefinidos o parcialmente automatizados: para una gestión de contingencias más rápida y robusta, haciendo que la ejecución sea más adaptable y resiliente.

4.2. Sincromodalidad en su aplicación a Puertos

El concepto planteado de “Dynamic Planning”, en su aplicación a Puertos supone una evolución a paradigmas de sincromodalidad en los cuales se potencia la conexión intermodal entre distintas modalidades de transporte, disponiendo esquemas de optimización holísticos los cuales no solo redundarán en la eficiencia y competitividad de la cadena logístico-portuaria sino también en la seguridad, sostenibilidad y resiliencia de la misma.

La I.A., sin duda, transformará la forma en que trabajamos en los puertos: lo que nos permite mejorar la eficiencia, pero también la seguridad, la resiliencia y la sostenibilidad en toda la cadena de suministro del océano en general. Los paradigmas de sincromodalidad están muy presentes en las proposiciones de valor esbozadas por la mayoría de los Puertos Inteligentes.

En el siguiente diagrama se ilustra el concepto de sincromodalidad desde la utilización de I.A. que generen predicciones que ayuden a una toma de decisiones educada, tal y como se ha planteado en el apartado anterior.

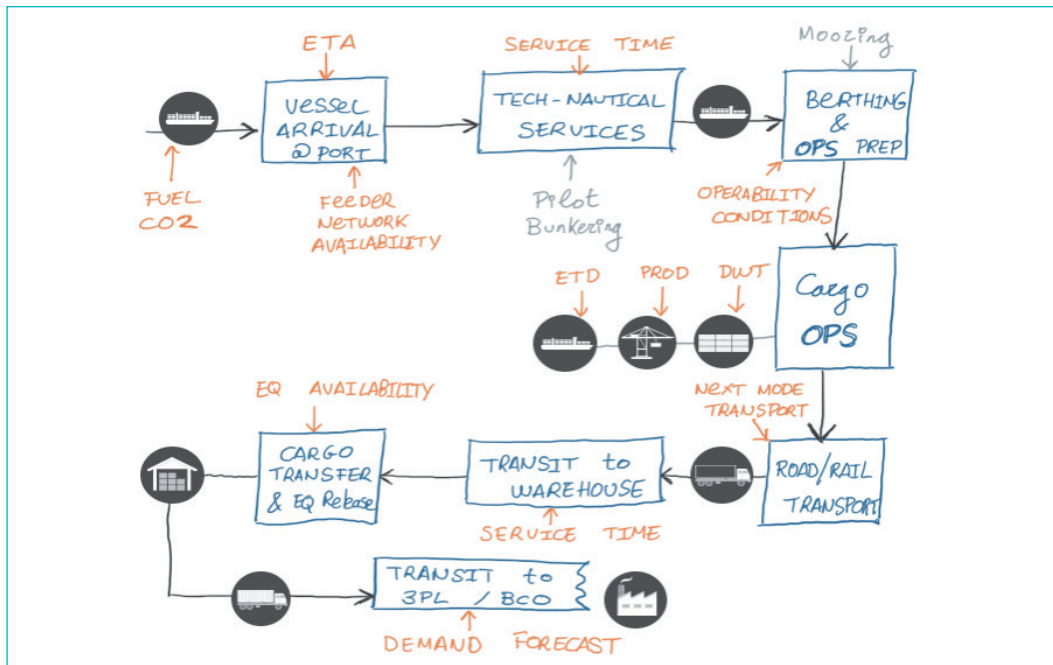


Figura 5. Diagrama Conceptual Sincromodalidad en Puertos.

Fuente: Next-Port, 2021.

Se plantean beneficios muy conectados con los asumidos para los Puertos Inteligentes en el capítulo 2, y en concreto para:

- Hacer la decisión haciendo más dinámico, más cercano al tiempo real, y prescriptivo, y transparente entre los distintos actores involucrados.
- Permitir que los sistemas y los dominios de decisión interoperen, catalizando la conexión entre las diferentes modalidades de transporte.
- Generar un ecosistema portuario conectado para el beneficio de nuestros clientes y los nuevos modelos logísticos impulsados por los datos y solicitud de visibilidad “end-to-end” y en tiempo real.

4.3. I.A. y metodologías de Optimización Sistemática

Una observación generalizada en las distintas experiencias reales durante proyectos de optimización y las aplicaciones software en las cuales NextPort ha participado, tanto a nivel de Puerto como a nivel de Línea Naviera o de Terminal de Contenedores: existe una necesidad fundamental para sistematizar la preparación de los datos y de forma subsecuente los pasos en los que se articula el proceso de optimización.

- Una buena parte de las “lecciones aprendidas” son cubiertas por la utilización práctica de metodologías de mejora continuada de procesos como se ha explicado anteriormente: pero en este caso relacionado con la necesidad que plantea la introducción de I.A. para su introducción efectiva y para la consecución de objetivos tangibles de impacto real.

Las aplicaciones de optimización para Puertos y para Terminales han evolucionado significativamente en las últimas décadas:

- Desde las primeras experiencias comerciales que Navis estableció para optimizar el proceso de planificación de estiba, y todos los cálculos relativos a la estabilidad del mismo y los parámetros de navegación al comienzo y a la finalización de la operación de carga y descarga,
- Evolucionando desde rutinas de optimización que se encuentran “en código” (“hard-coded”) a productos configurables con los cuales los usuarios pueden controlar el comportamiento de los algoritmos y el establecimiento de estrategias que primen la productividad, el coste o la organización de las operaciones (como ejemplo),
- Y durante los últimos años una tendencia creciente a disponer metodologías conducidas por datos,

como las mencionadas anteriormente; con el problema persistente al respecto de disponer, incluso utilizando el mismo proveedor y aplicación, algoritmos que no conectan de forma efectiva los distintos dominios de decisión como por ejemplo asignación de posición en muelle y en patio de almacenamiento;

En este contexto, a nivel de limitaciones, pero también de oportunidades, la evolución para activar un impacto de I.A. en Puertos pero más a nivel general disponiendo herramientas de optimización que establezcan prácticas más uniformes, repetibles y de aplicabilidad más generalizada:

1. Por un lado, el problema relativo a la preparación de los datos. Hoy en día, la mayoría de los proyectos referidos aun demandan un 80% del tiempo dedicado a la estructuración de los datos para hacerlos “útiles”, siendo el tiempo efectivo dedicado a la optimización mínimo:
 - a) En este campo, las capacidades de integración de datos desde las aplicaciones núcleo deben evolucionar a esquemas más abiertos y estándares: además de necesitar disponer la persistencia de datos que no son accesibles normalmente al usuario,
 - b) Así como disponer de un registro histórico al respecto de los rendimientos/productividades y las configuraciones aplicadas: de modo que dichas configuraciones óptimas sean reconocibles, de igual modo para las acciones ejecutadas por los usuarios para del mismo modo anexarlas a dichas configuraciones óptimas,
2. Por otro lado, para que la I.A. cree valor tangible desde la gran cantidad de datos disponible depende del desarrollo y entrenamiento de los algoritmos de forma inclusiva con las aplicaciones de apoyo a la toma de decisiones:
 - a. En este campo, la contribución los modelos de simulación y las rutinas embebidas de análisis de datos va a ser muy relevante. La evolución a plataformas de gemelo digital como el artículo relacionado en esta publicación,
 - b. Y en general la tendencia tecnológica a evolucionar las herramientas de simulación y emulación para que funcionen como aceleradores de desarrollo y entrenamiento de los algoritmos (“sandbox”), de cara a desarrollos más rápidos y robustos, que impacten de forma efectiva la toma de decisiones.

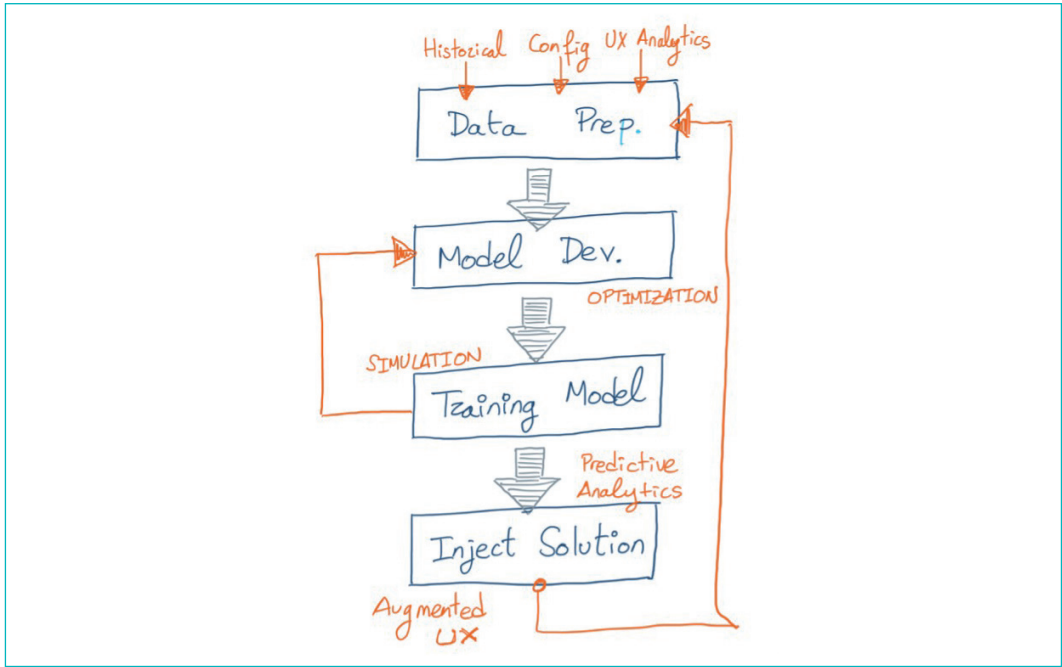


Figura 6. Diagrama Conceptual Optimización Sistemática.

Fuente: Next-Port, 2021.

En toda esta evolución tecnológica es muy importante sistematizar la preparación, desarrollo, entrenamiento y utilización de los modelos matemáticos que ayudaran a la toma de decisiones en estos Puertos Inteligentes:

- El registro histórico a nivel de eventos, como de rendimientos, acciones de los usuarios y configuraciones utilizadas, para saber que funciona bien y como,
- La analítica de datos integrada en el Desarrollo de los algoritmos, pero también en el entrenamiento de los mismos para que funcionen de forma efectiva,
- Y la parte tal vez más complicada que es la de crear una solución desde esos algoritmos, que se introduzca de Vuelta en los sistemas de forma inclusiva,

Como cualquier evolución tecnológica debe empezar y terminal en las personas, y el poner en valor los Datos y utilizar Algoritmos es algo complejo.

4.4. Desarrollo de Competencias Digitales para I.A.

Siendo la I.A. la tendencia tecnológica más revolucionaria de toda la historia, debemos entender que el conocimiento sobre la aplicación práctica de la misma es muy limitado y que su introducción crea también

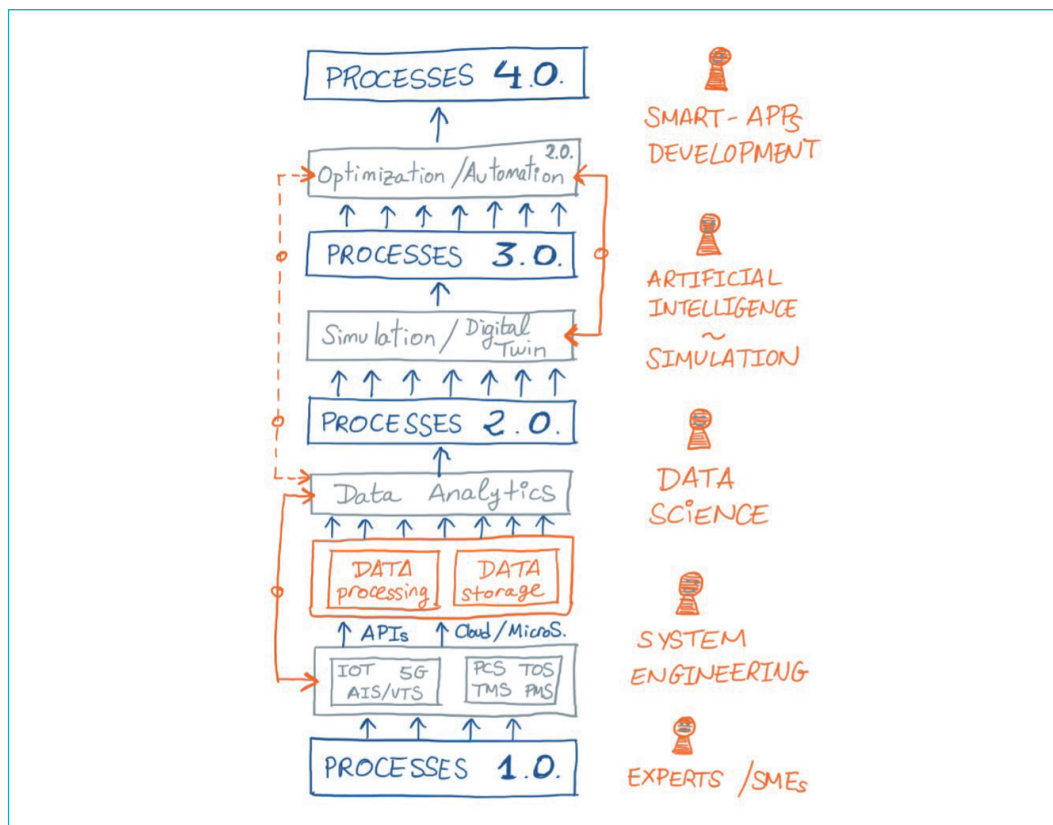
una necesidad de transformación en los paradigmas organizativos existentes.

En resumen, la I.A. plantea conceptos abstractos y complicados: complicados de entender, de difícil aplicación práctica y que usa componentes tecnológicos complejos y novedosos. Muy importante en esa línea, estamos empezando y la Digitalización en Puertos introduce desafíos educativos y organizativos, como los relativos a:

- El conocimiento y prácticas para la captura y utilización de datos de diferentes plataformas y tecnologías, las cuales precisan ser integradas – en estos campos competencias relacionadas con la Ingeniería de Sistemas o la Ciencia del Dato son importantes,
- La introducción de algoritmos para ayudar y transformar los procesos existentes, incluyendo metodologías de desarrollo y entrenamiento de las lógicas asociadas – en estos campos competencias como las Matemáticas y Estadística o la Simulación de Procesos se hacen fundamentales,
- Y en definitiva, el rediseño integrado de las organización, los perfiles y las cualificaciones, para disponer programas de transformación digital que vayan acompañados con evoluciones organizativas y planes de formación que actúen como verdaderos catalizadores de las mismas...

Figura 7. Diagrama Conceptual Competencias I.A.

Fuente: Next-Port, 2021.



... para una inteligencia inclusiva de personas, sistemas y algoritmos. Siendo conscientes de que la evolución de Procesos 1.0 a Procesos 4.0 no va a ocurrir de un día para otro si no que requiere de planes estratégicos y programas de implementación. En los cuales la continuación y evolución gradual de las iniciativas, así como su agilidad para pivotar, serán clave.

5. CONCLUSIONES

La I.A. proporcionará las capacidades necesarias para que los Puertos evolucionen para ser más inteligentes, más resilientes, competitivos y más sostenibles: respondiendo a los retos establecidos por el Cambio Climático y capacidades de optimización concretas que necesitamos para transformar los Puertos:

- Haciendo la toma de decisión haciendo más dinámica, más cercana al tiempo real, y prescriptiva, y transparente entre los distintos actores,
- Permitiendo que los sistemas y los dominios de decisión interoperen, catalizando la conexión entre las diferentes modalidades de transporte,

- Generando un ecosistema portuario conectado para responder a los nuevos modelos logísticos que demandan trazabilidad en tiempo real,

Pero para su adopción requiere un planteamiento serio en los siguientes pilares:

- Diseñar un ecosistema portuario verdaderamente conectado e inteligente,
- Permitir una metodología sistemática para que los datos alimenten algoritmos y estos inyecten soluciones a los sistemas de apoyo a la toma de decisiones,
- Remodelación inclusiva de la organización, la formación y la transformación,

... para permitir una inteligencia integrada futura entre sistemas, datos y personas.

6. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Jose Ramón Ruiz (Puerto de Santander), Guillermo Massot (Althium), Christian Blauert (*Moffat and Nichol*) y Francisco de los Santos (Puerto

de Algeciras) por todas las conversaciones que han servido para maquetar las ideas que se incluyen en este trabajo. El impacto de la inteligencia artificial en Puertos no se logrará sin una colaboración estrecha entre expertos, y también entre Puertos: y 'amigos' que crean en un Futuro mejor para nuestra industria.

Además extender los agradecimientos a todos los profesionales de los que ha podido aprender durante los últimos 20 años en sus experiencias con APBA, Hanjin Shipping, TTIA, Navis, Cargotec, TIL y MSC. Y más allá de la componente de conocimiento, el autor agradece a su Familia, en especial su mujer Rosa, el fundamental apoyo incondicional en cualquiera de las aventuras intelectuales que (tan a menudo) plantea.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PRINCIPALES

[01] Alderton P., "Port Management and Operations", Lloyd's Shipping Guides - (1996).
 [02] Sheffi, Y., "Logistics Clusters: delivering value and driving growth" - (2004).
 [03] Levinson M., "The Box: How the Container Shipping made the World smaller and the World economy bigger" - (2006).
 [04] Pernia, O., "Puertos de Nueva Generación", Revista Colegio de Ingenieros de Telecomunicaciones - (2008).
 [05] Pernia, O., "Ports of the Future - a sense of wonder", Cargotec and Navis for Port Technology International - (2015).
 [06] Babicz J., "Wartsila Encyclopedia of Ship Technology" Second Edition - (2015).
 [07] UNCTAD, "Review of Maritime Transport" (multiple reportes) - (2016-2020).
 [08] Lindstrom J., Pernia O., "Data Alchemy and Smart Connected Ports", Cargotec for Port Technology International - (2016).
 [09] Ceci R., Pernia O., "Automated Intelligence: A.I. for Terminals", VIT and Navis for Port Technology International - (2017).
 [10] Santos de los F., Pernia O., "Digital Ports: the evolving role of Port Authorities", APBA and XVELA for Port Technology International - (2017).
 [11] Martinez M., Pernia O., "The path toward Intelligent Supply Chains", Zona Logistica and XVELA for Port Technology International - (2018).
 [12] Boston Consulting Group, "To get smart, ports go digital", BCG website - (2018).
 [13] McKinsey Whitepapers, "The future of Port Automation" - (2018).

[14] Pernia O., "Navis@Labs chronicle: Pit Stop Port Operations", Cargotec and Navis for a LinkedIn Blog - (2018).
 [15] Morgan B., "How Amazon has reorganized around Artificial Intelligence" - (2018).
 [16] Wells J.R., Ellsworth G., "Inditex Logistic Model Analysis" Harvard Business School - (2018).
 [17] Pernia O., "End To End Planning Processes", XVELA Port Technology International - (2018).
 [18] Autoridad Portuaria Bahia de Algeciras, "Proceso Compra Publica Innovadora: Inteligencia Prescriptiva" - (2019)
 [19] Salvesberg E., Engels R., Boer C., Pernia O., "Artificial Intelligence and Resiliency", Port Technology International - (2020).
 [20] Kretschmann, Zacharias, Klover S, Hensel T., "Machine Learning in Maritime Logistics", Fraunhofer CML - (2020).
 [21] DCSA, "Improving operational efficiencies and optimizing planning" Just-In-Time Port Call Standards - (2020).
 [22] Levinson M., "Outside the Box: how globalization changed from moving stuff to spreading ideas" - (2020).
 [23] Lim K., Broosgaard S., "Maritime Digitalization Playbook" MPA Singapore, BCG - (2020).
 [24] Lind M., Michalis M., Watson R., ..., Pernia O. "Ports as Multidimensional Hubs" pp 39-59 Springer - (2021).
 [25] TIC 4.0, "An Introduction to the Terminal Industry Committee 4.0" y otras publicaciones - (2021).
 [26] Pernia O., "Artificial Intelligence and Smart Ports", NextPort Port Technology International - (2021).
 [27] Becha, H, Lind M., Simha A.; Bottin F. Smart Ports: On the move to become Global Logistics Information Exchange Hubs - (2020).
 [28] Massot, G. "Tecnologías exponenciales en Puertos: Ecosistemas Digitales" - (2021).

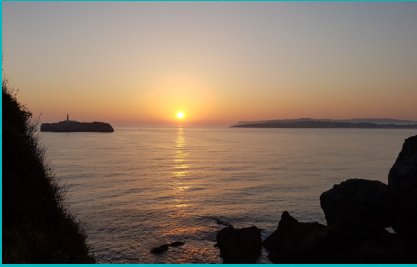
8. NOTAS

- 1 Puerto Hamburgo y HHLA – predicción dwell time con machine learning. <https://www.hamburg-news.hamburg/en/innovation-science/hhla-using-machine-learning-raise-productivity-port-hamburg>
- 2 Puerto Singapur – SAFER predicción asociada operativa buques. <https://www.maritime-executive.com/article/singapore-and-ibm-test-artificial-intelligence-systems>

- 3 Puerto Rotterdam – colaboración ‘Port Call Optimization’. https://www.bestpractice.ai/studies/the_port_of_rotterdam_is_collaborating_with_ibm_to_become_a_smart_shipping_port_using_data_to_boost_efficiency_and_drive_down_costs
- 4 Maersk – Logistics Digital Revolution con I.A. https://www.maersk.com/~media_sc9/maersk/solutions/technology-and-electronics/files/maersk-logistics-digital-revolution.pdf
- 5 APM Terminals – Monitoreo de aplicación IT basado en I.A. <https://www.heuritech.com/blog/company-analysis/zara-leadership-artificial-intelligence/>
- 6 Inditex / Zara – Modelo e-commerce basado en I.A. <https://www.heuritech.com/blog/company-analysis/zara-leadership-artificial-intelligence/>
- 7 Harvard Business Review – Analisis modelo logístico Inditex. <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=54533>
- 8 Estrategia y adopción de I.A. en Amazon. <https://arekskuza.com/the-innovation-blog/amazon-and-artificial-intelligence-in-retail/>
- 9 Wartsila – hardware y software para la navegación sostenible de buques. <https://www.wartsila.com/about>
- 10 Wartsila – interfaz buque-puerto para operaciones “Just-In-Time”. <https://www.wartsila.com/insights/article/just-in-time-is-just-the-beginning>
- 11 Navis/XVELA – optimización de la gestión de atraques y utilización muelles. https://www.port-technology.org/wp-content/uploads/2019/05/Navis_Xvela-PTI_-_V3-AMENDED_VERSION-JOY.pdf
- 12 PortChain – optimización de rotación de buques y gestión de atraques. <https://www.portchain.com/features/>
- 13 Awake.AI – optimización de la gestión de atraques y utilización muelles. <https://www.awake.ai/berthplanner>
- 14 Avlino - herramientas de optimización patio almacenamiento. <https://avlino.com/assets/pdf/Avlino-Factsheet-YardSight-092120.pdf>
- 15 ClearMetal - soluciones predictivas para la cadena de suministro. <https://www.clearmetal.com/customers>
- 16 ESRI - soluciones geolocalización para visibilidad cadena de suministro. <https://www.esri.com/en-us/industries/manufacturing/segments/supply-chain>
- 17 Project44 – plataforma automatización de procesos logísticos. <https://www.project44.com/>



FIGURA
No. 27
Mujeres



UIMP
Universidad Internacional
Menéndez Pelayo

