



Digitalización en puertos: aplicación de gemelos digitales en la complejidad logística

Introducción

Las tecnologías digitales son actualmente una nueva frontera para la modernización del sector portuario. De hecho, permiten hacer frente a los retos del sector, como son la necesidad de gestionar espacios físicos cada vez más limitados, la administración de fenómenos meteorológicos extremos



Introducción	1
I. Gemelos digitales y nuevas tecnologías	3
II. Gemelos digitales en el contexto de la industria 4.0	4
III. Puertos inteligentes: innovación y digitalización en la logística portuaria	6
IV. Impactos sociales de la digitalización y del desarrollo tecnológico	7
V. Recomendaciones y consideraciones finales	9
VI. Bibliografía	11
VII. Anexo Estudio de caso: el gemelo digital de Singapur	12
VIII. Publicaciones de interés	14

El presente *Boletín FAL* se inscribe dentro de las Reflexiones sobre Tecnologías Disruptivas en el Transporte de la CEPAL. Esta edición analiza en particular las oportunidades y los desafíos que la implementación de gemelos digitales puede tener en la competitividad de operaciones logísticas y puertos.

El documento señala la importancia de los gemelos digitales como una de las nuevas tecnologías claves para el desarrollo de la infraestructura logística y urbana, cuya aplicación en los países de América Latina y Caribe proporcionaría muchos beneficios. En particular, permitiría optimizar las operaciones en los puertos de la región, lo que resulta fundamental para la inserción de los países en el comercio internacional y las cadenas globales de valor.

El documento fue preparado por Diogo Aita, Oficial Asociado de Asuntos Económicos de la Unidad de Servicios de Infraestructura de CEPAL, sobre la base del estudio realizado por Rodrigo Mariano Diaz, Consultor de la misma Unidad. Para mayores antecedentes sobre esta temática, contactar a diogo.aita@cepal.org.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.





o los cambios crecientes en los hábitos de consumo. Además, permiten reducir costos y emisiones de gases nocivos al medio ambiente, y proporcionar mayor confiabilidad de los servicios ofrecidos.

En este contexto, los gemelos digitales emergen como una herramienta que comienza a revolucionar muchos sectores. Estos constituyen principalmente representaciones digitales de objetos o procesos que, entre muchas aplicaciones, facilitan la toma de decisiones probando digitalmente diferentes escenarios sin riesgos reales. Se puede crear un gemelo digital de una máquina, un edificio, fábricas, ciudades o puertos. Incluso, se está trabajando en crear gemelos digitales de pacientes para explorar terapias para tratamientos de enfermedades. La industria 4.0, la gestión de puertos y logística, y la interacción de actividades industriales con las comunidades con las que conviven también son algunas de las áreas de factible aplicación de esta nueva tecnología. Además, los gemelos digitales se pueden convertir en un medio para el logro de los objetivos 2030 de las Naciones Unidas para las áreas con asentamientos humanos en lo referente a inclusión, seguridad, resiliencia y sostenibilidad (Morales, 2021).

En el contexto portuario, los sistemas de gemelos digitales permiten generar modelos de estudio de impacto de las actividades en las cadenas logísticas y en la comunidad. Estos sistemas pueden predecir mejores alternativas de impacto inmediato y de largo plazo, no sólo en el desarrollo de actividades específicas, sino también en el rol de los puertos dentro de la actividad logística. En tal sentido, ofrecen beneficios para la reorganización de los procesos logísticos, dando lugar al conjunto que se denomina *Smart Logistics* o Logística Inteligente.

Sin embargo, recientes estudios de CEPAL manifiestan, en sintonía con los análisis realizados por el *World Economic Forum*¹, los riesgos que representan las tecnologías exponenciales que conforman la 4ta revolución industrial. Uno de ellos es la brecha que podría extenderse entre aquellos países que puedan abordar económica y estratégicamente el uso de tecnologías como la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT, de la sigla en inglés), *blockchain*, las comunicaciones con tecnología 5G, entre otras, y aquellos que no puedan oportunamente innovar sus procesos. Las comunidades en América Latina, y más acentuadamente en los países que forman la comunidad del Caribe, por ejemplo, tienen un pasado y un presente fuertemente vinculados a la actividad portuaria, y la misión de sus autoridades tiene un fuerte compromiso con el bienestar y el desarrollo sostenible de la sociedad que los rodea.

El presente boletín presenta la tecnología de gemelos digitales y analiza su potencial en diferentes aplicaciones, tanto los beneficios como los retos que representa para los países de América Latina y el Caribe. El documento se divide en cinco secciones. La primera sección

¹ Véase por ejemplo, World Economic Forum (2016).

introduce el concepto de gemelos digitales en el contexto de las nuevas tecnologías actuales. La segunda describe cómo se posiciona la herramienta en el desarrollo tecnológico de la industria 4.0. Enseguida, la tercera sección presenta las potencialidades del desarrollo de gemelos digitales en torno a la logística portuaria y las cadenas de suministro. En la cuarta sección se exponen diversos impactos que pueden darse en las sociedades debido al avance de las tecnologías digitales. El documento finaliza en la quinta sección con un conjunto de recomendaciones para incorporar debidamente la tecnología de gemelos digitales en la infraestructura portuaria. Asimismo, en el anexo se presenta un estudio de caso sobre el gemelo digital de Singapur.

I. Gemelos digitales y nuevas tecnologías

El gemelo digital se está convirtiendo en una de las tecnologías más importantes en diferentes sectores, principalmente debido a su potencial para mejorar el comportamiento de sistemas, procesos y servicios mediante la monitorización, control remoto y simulación de cualquier tipo de activo. Si bien antes de la pandemia del Covid-19 las empresas ya estaban empezando a invertir en esta tecnología, con la crisis de salud, la transformación digital y la capacidad de tomar decisiones rápidas dejaron de ser diferenciadores estratégicos para convertirse en necesidades que aseguren la permanencia de las empresas en el mercado. La pandemia dejó esta enseñanza y aceleró la implantación de la tecnología de la información obtenida de sensores o automatización, que permite el análisis inteligente de datos y la monitorización de sistemas para evitar problemas antes de que se produzcan, prevenir tiempos de inactividad, personalizar la producción, entre otras posibilidades.

El concepto de gemelos digitales se nutre de distintos conocimientos y ciencias aplicadas, tornándose posible su materialización en la medida en que estas alcanzaron sus propios niveles de maduración para explotación industrial. Sectores como el cuidado de la salud y la industria farmacéutica, que han tenido un repunte en la crisis sanitaria, impulsan este crecimiento y adopción. Se estima que hasta este momento, alrededor del 13% de las organizaciones ya implementan el uso de gemelos digitales, mientras que el 62% se encuentra en proceso de establecer dicha aplicación (Morales, 2021).

En primera instancia, si la atención se centra en el desarrollo de sistemas, el gemelo digital frecuentemente se emplea para tareas de validación de diseño o dimensionamiento. En lo que respecta a aplicaciones de ingeniería de vanguardia, la herramienta es principalmente un modelo de simulación que replica propiedades o el comportamiento del sistema considerado. El término “gemelo digital” enfatiza que el modelo replica con precisión el sistema, cubre varios aspectos y puede responder preguntas detalladas en varias disciplinas, o con respecto al sistema en general. Esta es una característica distintiva en comparación con los enfoques tradicionales, como la simulación de sistemas.

En segunda instancia, la herramienta aborda las aplicaciones durante el funcionamiento y el servicio de una operación. El gemelo digital, entendido como un equivalente virtual de un sistema real, ayuda los usuarios a operar o mantener el sistema físico real, es decir, el gemelo real. En este contexto, la NASA (sigla en inglés para la *National Aeronautics and Space Administration*, de EE. UU.) usó el término en sus hojas de ruta para describir los objetivos tecnológicos y desarrollar gemelos digitales de satélites en misiones espaciales.

La mayoría de los sistemas con amplios niveles de control y automatización en uso generan datos a partir de sensores instalados o de varios *softwares* que están integrados en estos sistemas. La conectividad mediante las tecnologías y estándares de comunicación inalámbrica de todos los dispositivos y la computación ubicua son impulsores técnicos de tendencias como Internet de las cosas (IoT), Industria 4.0 e Internet industrial.

Muchas aplicaciones en estas áreas se basan en la recopilación y análisis de datos, combinándolos con métodos de inteligencia artificial. Estos desarrollos aumentan la importancia del enfoque del gemelo digital. Los datos del sistema real se pueden utilizar para sincronizar continuamente el gemelo digital. Es decir, su representación digital

dinámica deberá representar siempre el estado actual del sistema real. Así, a partir del gemelo digital, se pueden realizar aplicaciones para pronosticar el comportamiento del conjunto, evaluar escenarios operacionales y mejorar el desempeño del sistema.

La digitalización está cambiando al mundo y especialmente está abriendo nuevas oportunidades para interconectar sistemas complejos y hacerlos inteligentes. No solo servirá a la mecatrónica, al control y automatización, a la ingeniería biónica, a la biomédica, sino también a las ingenierías de la vieja guardia, como la mecánica o a la ingeniería eléctrica de potencia (Aquino, 2020).

II. Gemelos digitales en el contexto de la industria 4.0

La cuarta revolución industrial, concepto desarrollado ampliamente en la literatura, y específicamente por la CEPAL en documentos recientes, está cambiando para siempre la forma en que se entienden los procesos de producción. El sistema logístico del futuro, en consecuencia, apunta a la interconectividad de la información, la optimización del tiempo y los recursos, con una fuerte inversión y desarrollo en innovación para mantener su competitividad (Barleta, Pérez Salas, y Sánchez, 2019).

En paralelo, la idea teórica de poder crear un modelo virtual de cualquier proceso de producción no es nueva. Sin embargo, esperaba a que la capacidad de análisis de datos, la infraestructura de conectividad, el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento y el procesamiento de información permitiesen llevarla a la práctica con garantías.

Los gemelos digitales están en la misma base del nacimiento de la industria 4.0: la digitalización de las fábricas y los procesos para ganar eficiencia en la producción. Ambos procesos, como todo lo que rodea a la innovación, son parte de un ecosistema que cuenta con varias herramientas que se complementan. Así, aunque las expectativas a veces parezcan exageradas o los modelos todavía experimentales, cada vez más fábricas apuestan por esta tecnología y están logrando resultados concretos. Véase el diagrama 1.

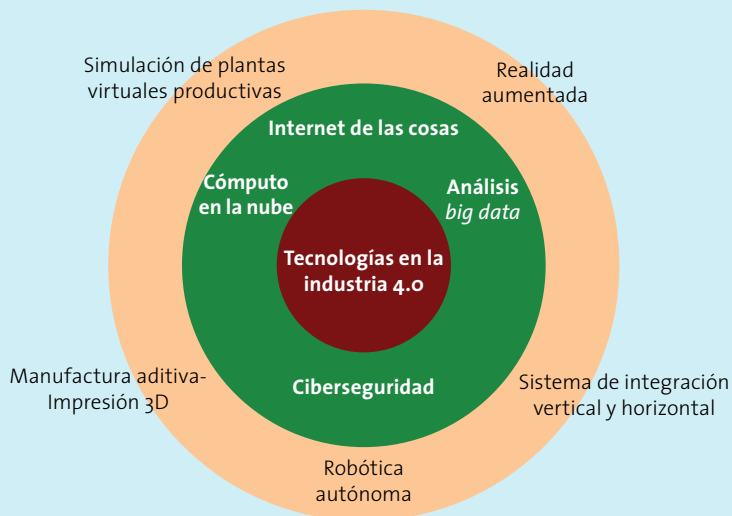
Muchas aplicaciones en estas áreas se basan en la recopilación y análisis de datos y los combinan con métodos de inteligencia artificial. Estos desarrollos aumentan la importancia del enfoque del gemelo digital porque permiten una representación digital dinámica que reproduce el estado actualizado del sistema real. Este entorno protegido y seguro para la experimentación permite detectar problemas, planificar tareas de mantenimiento, evitar paradas inesperadas y construir nuevos escenarios de funcionamiento más eficientes, sin arriesgarse a fuertes inversiones en nueva infraestructura o prototipos.

Un requisito indispensable para la construcción de un gemelo digital es utilizar todos los datos disponibles. Este hecho requiere la aplicación de tecnologías *big data* para gestionar eficientemente los datos en tiempo real, combinados con la información histórica y del entorno que interrelaciona áreas como logística, ventas, almacén o mantenimiento. Para la creación del modelo predictivo que fundamenta un gemelo digital, por ejemplo, es necesario la aplicación de técnicas punteras en el ámbito del *machine learning*. De hecho, sólo mediante la introducción de ambas disciplinas es posible crear un gemelo digital que proporcione simulaciones precisas, tanto a partir de su operativa actual real, como de estados pasados y futuros.



Diagrama 1

La industria 4.0 en el contexto de las nuevas tecnologías



Fuente: Elaboración propia.

Además, los componentes básicos de un gemelo digital cuentan con una importante capa de potente *software* en forma de:

- Simulación digital: un modelo que define el sistema.
- Automatización inteligente y sensores conectados al internet de las cosas (IoT) para la interrelación entre el sistema real y el modelo.
- *Data analytics* e inteligencia artificial.
- Avanzada interfaz humano-máquina.
- Realidad virtual y realidad aumentada (VR/AR).
- Diseño 3D asistido por ordenador (CAD).

Esta multiplataforma está revolucionando los procesos a lo largo de toda la cadena de valor, permitiendo que las etapas individuales se vinculen sin problemas al contar con una representación virtual de un producto o proceso de producción. Esto se traduce en un mayor crecimiento de la eficiencia, que minimiza los índices de fracaso, acorta los ciclos de desarrollo, y se abren nuevas oportunidades de negocios, lo que lleva a que aumente la competitividad de las empresas.

Algunas ventajas de la unión del mundo físico con el mundo virtual de la mano de los gemelos digitales son:

- Diseño de productos y de procesos que permiten incrementar la productividad con respecto a los métodos tradicionales.
- Reducción del tiempo de comercialización de un nuevo producto y reducción del coste de introducción del mismo al mercado.
- Fiabilidad y mantenimiento predictivo.
- Planificación de escenarios futuros.
- Reducción del tiempo de inactividad, aumento de eficiencia, y ahorro en costes.
- Mejora generalizada de la calidad de los procesos y productos con respecto a los niveles tradicionales.

La digitalización económica puede impulsar el uso de la economía circular en tanto y cuanto suponga un incremento relativo del uso de bienes de consumo intangibles, prolongue su vida útil gracias a las plataformas de consumo colaborativo, permita la optimización de los procesos productivos e incremente el grado de responsabilidad social corporativa en las empresas.

III. Puertos inteligentes: innovación y digitalización en la logística portuaria

En logística, los gemelos digitales se pueden usar en una amplia variedad de aplicaciones a lo largo de toda la cadena de valor, incluyendo la gestión de flotas de contenedores, la monitorización de envíos o el diseño de grandes sistemas logísticos. Los sensores de IoT en contenedores individuales, por ejemplo, muestran su ubicación y monitorizan cuestiones como los daños o la contaminación que produce su transporte. Estos datos fluyen hacia un gemelo digital de la red de contenedores, que utiliza *machine learning* de manera de ayudar a la toma de decisiones para la eficiencia operativa.

Los gemelos digitales pueden aplicarse no solo a activos individuales, sino también a redes y ecosistemas completos, como almacenes, combinando un modelo 3D de una instalación con un seguimiento en red y tiempo real del inventario y de los datos operativos. El sistema podría proporcionar una visión general del estado de las máquinas y de la disponibilidad de cada producto, así como hacer predicciones e incluso tomar decisiones de forma autónoma sobre el stock o las entregas. Se prevé que el mercado de la tecnología de gemelos digitales crezca más del 38% anual, lo que superaría los 26.000 millones de dólares en 2025 (Technavio, 2020). Este modelo ofrece capacidades sin precedentes para rastrear, monitorizar y diagnosticar activos. Podría cambiar radicalmente las cadenas de suministro, aportar una amplia gama de opciones para facilitar los entornos colaborativos y la toma de decisiones basada en datos, y así simplificar los procesos empresariales y crear nuevos modelos de negocio. (Grupo C de Comunicación Interprofesional, 2019).

En el ámbito marítimo, el flujo de datos generados por contenedores inteligentes proporciona una infinidad de información para la optimización del transporte y, en consecuencia, para la logística terrestre de carga y descarga, y la logística interna de los puertos. Cuanto mayor sea la conexión entre los dispositivos y los datos generados por diversos casos de uso (por ejemplo, tiempo de tránsito ejecutado, alertas de desviación y utilización de la infraestructura asociada a los movimientos y operaciones de los contenedores), los flujos de datos digitales ofrecen más oportunidades para la representación y simulación en tiempo real de situaciones auténticas (Global, 2020). En ese contexto, el modelado por medio de gemelos digitales permite anticipar situaciones y de esa manera puede generar grandes beneficios en costes y en capacidad a las operaciones.

Además, la vinculación digital permite una mejora en la toma de decisiones de las compañías navieras, los operadores portuarios y otros actores en el ecosistema del transporte y la navegación. También facilita la elaboración de normas que apoyan tanto la integración de las operaciones de la cadena de suministro del transporte, como el desarrollo de los

hermanamientos digitales para la mejora de las operaciones y la planificación estratégica. (Global, 2020).

Los tres ámbitos del sector marítimo que se pueden beneficiar del modelo de gemelos digitales son: 1) la optimización de las flotas, puertos y terminales, 2) el aumento del conocimiento de la situación de las principales partes interesadas y 3) la optimización de la cadena de suministro de extremo a extremo (Lind y otros, 2020).

Con relación a la optimización de las flotas, puertos y terminales, es importante considerar que las compañías navieras pueden usar diferentes empresas de transporte simultáneamente. De esa manera, la diversidad de actores involucrados en la operación hace que el intercambio de datos sea esencial para mantener y ganar en competitividad, optimizar la operación de buques y su capacidad de transporte. El análisis de operaciones logísticas se podría realizar a través de un gemelo digital, que se basara en el historial, la actualidad y las predicciones de las transacciones comerciales, para organizar y anticipar las actividades.

La eficiencia de los puertos depende del equilibrio entre la demanda y la oferta de manera flexible y de la integración en todo el sistema de transporte. Este modelo debería analizar el número de atracaderos necesarios para que el puerto cumpla los objetivos de puntualidad o la cantidad de espacio de patio necesaria para que los distintos clientes puedan almacenar su carga a medida que ésta se desplaza entre los servicios de transporte, ya sea marítimo o de otro tipo. Así, los flujos de datos generados por los contenedores inteligentes generan una información valiosa para la optimización de las flotas, los puertos y las terminales y son una fuente de datos para los gemelos digitales (Lind y otros, 2020).

El conocimiento de la situación de los diferentes actores que intervienen en los procesos logísticos es otro elemento fundamental para sumar competitividad al sector marítimo y portuario. Los propietarios de carga, los compradores de transporte y los clientes finales buscan una mayor visibilidad y previsibilidad del estado del transporte de mercancías en su movimiento desde el origen hasta el destino. Por ello, para mejorar la conciencia situacional de estos grupos, es factible considerar un enlace paralelo de gemelos digitales relevantes para que las repercusiones de un retraso en una etapa se puedan analizar a fondo y se puedan hacer ajustes. En ese caso, los gemelos digitales conectados se destacan como una posibilidad para investigar el desarrollo coordinado de inversiones en infraestructura a través de una red de puertos que interactúan con frecuencia para que las partes interesadas clave también obtengan conocimiento de la situación a largo plazo (Lind y otros, 2020).

Además, los contenedores pasan por muchos centros de transporte y pueden ser gestionados por diferentes transportistas en la cadena de suministro de extremo a extremo. En consecuencia, la información generada por los contenedores conectados son una fuente muy valiosa de datos para los gemelos digitales, incluso si se recuperan de una fuente de datos o si se manejan en tiempo real como una corriente de datos (Panaggio, 2020). El método de gemelo digital para la optimización de la cadena de suministro ofrece a los compradores y coordinadores de transporte oportunidades para la elección del modo de transporte y la ruta para atender a sus clientes. Igualmente, se puede utilizar como base de información para optimizar el flujo de contenedores vacíos.

Los fabricantes de grúas, los diseñadores de infraestructuras portuarias y de buques necesitan desarrollar o asesorar en la creación de un modelo estándar. Los sistemas digitales estandarizados de todos los componentes de la industria naviera son el siguiente objetivo si la industria quiere alcanzar niveles más altos de productividad de capital a través de la toma de decisiones operativas y estratégicas basadas en el análisis. (Global, 2020).

IV. Impactos sociales de la digitalización y del desarrollo tecnológico

La transformación digital, como concepto, lleva implícito la disrupción de las estrategias empresariales y los modelos de negocio. No es lo mismo digitalizar las estrategias que

adaptarse al entorno digital. Es decir, la transformación digital va más allá e incluye el planteamiento de cambios culturales, estratégicos y de operaciones dentro de la organización, para competir en el nuevo entorno digital.

Una de las principales detracciones que se le puede atribuir a este nuevo mundo digitalizado al que se está evolucionando es el llamado “desempleo tecnológico”, que se traduce en que, si las fábricas incorporan cada vez más máquinas inteligentes y procesos autónomos en sus plantas, probablemente disminuya la necesidad de capital humano, ya que sus tareas podrán ser sustituidas por estas máquinas o por robots. Sin embargo, la preocupación no es solo de los trabajadores, sino que también muchos empresarios temen el denominado “darwinismo tecnológico”, donde quienes no consigan adaptarse, tendrán bajas probabilidades de sobrevivir.

Para poder cuantificar en su verdadera magnitud este posible impacto, en primer lugar, se debe conocer el nivel de digitalización de la sociedad involucrada, para comprender con qué grado de madurez cuenta para afrontar el fenómeno. Este análisis debe estar compuesto por cinco indicadores:

- i) Conectividad: banda ancha fija, banda ancha móvil y precios.
- ii) Capital humano: competencias digitales básicas y avanzadas.
- iii) Uso de internet: uso por parte de los ciudadanos de los contenidos, las comunicaciones y las transacciones en línea.
- iv) Integración de la tecnología digital: digitalización de las empresas y comercio electrónico.
- v) Servicios públicos digitales: administración y sanidad electrónicas.

Enseguida, es necesario considerar que el proceso de adaptación de las empresas a los cambios tecnológicos y a las nuevas formas de producción también tiene un impacto importante en el mercado laboral, acompañado de una creciente demanda de profesionales cualificados y especializados en todo aquello relacionado con la informática, la tecnología y las telecomunicaciones. En este sentido, así como algunas funciones tienden a desaparecer, también surgen nuevos empleos, unos ya consolidados y otros en crecimiento y directamente relacionados con las nuevas tecnologías. De esa manera, a fines de minimizar los efectos negativos del proceso en marcha, deberían desplegarse las habilidades que sean requeridas para enfocarse en las actividades que sean difícilmente automatizables. Esas son, por ejemplo, las que priman la creatividad, la destreza manual y la relación interpersonal.

Entre los empleos emergentes, que suelen tener un bajo nivel de competencia, suponen buenas oportunidades y están vinculados a la innovación y a la tecnología, se puede mencionar el “científico de datos” (*data scientist*). Este es un experto en tratamiento de datos cuyo trabajo consiste en extraer y transmitir recomendaciones a los responsables de negocio de su empresa a partir de los datos de múltiples fuentes (habitualmente de *big data*). Además, entre los puestos de empleo ya consolidados, pero que continúan creciendo, pueden señalarse:

- Especialista en ciberseguridad.
- Especialista en metodología ágil Scrum.
- Especialista en robótica.
- Especialista en experiencia de usuario.

Se mencionan aquí solo algunas de las funciones laborales involucradas, siendo más extensa y detallado el listado de puestos de trabajo que están ligados, de una u otra manera, a la cuarta revolución industrial (Peón, 2019).

Otra de las barreras fundamentales con las que todavía se topan las empresas es la dificultad para digitalizar los sistemas en planta, debido a que la arquitectura tradicional de la mayoría es difícilmente sensorial y el tratamiento y gestión de la gran cantidad de datos en tiempo real que supone la tecnología de los gemelos digitales. La solución pasa por el *big data*, pero no todas las empresas pueden asumir ese coste.

En consecuencia, la implantación y el uso de los gemelos digitales se podrían ver restringidos únicamente a las grandes empresas, que cuentan con más recursos para asumir las

inversiones necesarias en comparación con las de menor tamaño. Esto hace suponer que las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) pueden quedar afuera del proceso.

En este contexto, es importante señalar que se encuentran en desarrollo distintos proyectos cuyas características de adaptabilidad a cualquier planta y sector permiten el acceso a la industria 4.0 a organizaciones que, en caso contrario correrían el riesgo de desaparecer del mercado. Como ejemplo puede citarse a la firma *Semantic Systems*, de origen español, que se encuentra desarrollando un gemelo digital capaz de representar todos los tipos de procesos industriales y de adaptarse a cualquier tipo de planta, acometiendo una inversión menor a la que actualmente conlleva este tipo de tecnología. El objetivo perseguido es que las PYMES industriales puedan ser más eficientes y competitivas (Samaniego, 2018).

La sociedad y la economía están cada vez más digitalizadas. Así, para dar respuesta a este entorno dinámico y a la velocidad de los cambios, la mayor parte de las empresas se han ido adaptando a través de nuevas estrategias y modelos de negocio y han implementado de manera progresiva nuevas herramientas de gestión y control, todo lo que ha permitido conseguir importantes ahorros en tiempo y costes. Esta necesidad de adaptación ya fue reflejada en el año 2013 por el Premio Nobel de Economía Robert J. Shiller, quien expuso que: “No se puede esperar a que se queme una casa para comprar un seguro contra incendios. No podemos esperar a que haya perturbaciones masivas en nuestra sociedad para prepararnos para la cuarta revolución industrial” (World Economic Forum, 2016).

V. Recomendaciones y consideraciones finales

Mientras que las cadenas de suministro se hacen cada vez más complejas y se refuerzan las normas y reglamentos medioambientales, además de la seguridad en las zonas portuarias y alrededores, los puertos de hoy en día se enfrentan a un sinfín de desafíos. Esto ha transformado a los puertos en proveedores de servicios y en parte activa de la cadena de suministro. Entregan sus servicios a numerosos interesados, desde la coordinación de las escalas portuarias, la gestión ambiental, y las operaciones de los buques hasta las operaciones en tierra, así como la administración de los bienes inmuebles comerciales e industriales.

En su función tradicional, el tamaño y la capacidad de los puertos fueron la clave del éxito de esta industria, pero debido a la evolución de las cadenas de suministro, la eficiencia es ahora el factor decisivo y deberían convertirse en puertos inteligentes. Esto quedó al descubierto con la llegada de la actual pandemia de COVID-19, que dejó a muchos puertos haciendo frente a la forma de manejar el impacto de la crisis económica.

La pandemia demostró lo dependientes que son las empresas y los países de cadenas de suministro resilientes, eficientes y con plena visibilidad en el transporte, tanto en el aéreo como el marítimo y carretero. La falta de información puede dar lugar a considerables demoras que pueden comprometer o, en el peor de los casos, hacer bajar o hasta anular el valor de las mercaderías enviadas. Según un informe de Trelleborg, empresa multinacional sueca de ingeniería, el 41% de quienes reservan bodega en los buques pierden su espacio en más del 20% de las ocasiones, y también otro 20% dice que el promedio de retraso en sus instalaciones es de más de seis horas (Trelleborg, 2020). Las numerosas demoras son sensibles para cada una de las partes interesadas, pero además pueden provocar congestionamientos que afectan a toda la cadena de suministro y aumentan costos de operación (Hellenic Shipping News, 2020).

Por ese motivo, el énfasis en la eficiencia debería haber aumentado la digitalización y automatización de la industria portuaria marítima. Los conocimientos basados en los datos van a permitir a los puertos simular de antemano y estimar la hora exacta de llegada de los buques para planificar. Esto también permitirá a las partes interesadas (por ejemplo, los departamentos de ventas y de operaciones) ajustar sus recursos y operaciones. Conectividad y crecimiento, deben ser la fórmula para el cambio que se impone en la industria, con un horizonte puesto en las siguientes acciones:

- Proporcionar servicios al buque y la carga.
- Actuar como interfaz entre el medio marítimo y terrestre.
- Conformar un entorno productivo.
- Asumir las tendencias logísticas de gran escala.
- Ser puntos estratégicos en el sistema de producción, transporte y comercio mundial.

El actual papel que juegan los puertos en la economía mundial es consecuencia de un proceso desarrollado a la par del comercio mundial. A pesar de las dudas, un informe de mercado de Markets and Markets proyecta que el mercado de soluciones digitales para puertos inteligentes alcanzará los US\$ 5.300 millones en 2024 con una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR, de la sigla en inglés para *Compound Annual Growth Rate*) del 25% a partir de 2019 (Markets and Markets, 2020), lo que sugiere que los puertos inteligentes están en alza (Hellenic Shipping News, 2020).

Este desarrollo ya se está empezando a notar en la comunidad portuaria. El año pasado, el Puerto de Valencia lanzó *iTerminals 4.0*, un proyecto financiado por el programa *Connecting Europe Facility* (CEF) de la Comisión Europea, que tiene como objetivo digitalizar las operaciones portuarias y adoptar nuevas tecnologías. En los últimos dos años, otros puertos marítimos de Europa, América y Asia también iniciaron proyectos digitales, por ejemplo, Rotterdam, Amberes, Hamburgo, Los Ángeles, Cartagena de Indias y Singapur, (News, 2020).

Además, el oportuno grado de maduración de las nuevas tecnologías como el IoT, la IA (Inteligencia Artificial), el *big data* y el *machine learning* ha permitido la materialización de la tecnología de gemelos digitales como herramienta versátil del diseño en múltiples campos de aplicación. La escala de aplicación es grande, y los altos niveles de complejidad dada por el número y variabilidad de sus componentes, como es el proyecto de desarrollo o crecimiento de ciudades y puertos, genera beneficios a todas las partes y actores involucrados asociados en una relación de apoyo mutuo.

En ese sentido, la aplicación de gemelos digitales permite beneficios relativos a la reducción de costos gracias al mantenimiento predictivo, a la detección de cuellos de botella o desequilibrios de capacidades, que permiten evitar segmentos o nichos perjudiciales en el ecosistema en tratamiento. La versatilidad se pone de manifiesto en la posibilidad de personalizar los productos adaptándolos a las necesidades o preferencias de los proyectos, atendiendo así, de manera indirecta, las manifestaciones relativas a la idiosincrasia y cultura de las comunidades involucradas.

La ciudad-puerto contemporánea es el resultado exitoso de la fusión entre una de las formas de vida más antigua de la humanidad, la ciudad, y una de las actividades más remotas de las sociedades, el comercio. A medida que ha ido creciendo la población mundial, el comercio se ha convertido en uno de los principales catalizadores de la globalización.

El auge del comercio ha impuesto nuevos estándares y requerimientos a los métodos de carga y transporte, así como a los mismos puertos. En los últimos 50 años, la capacidad de carga de los barcos se ha incrementado en un 1200% (Alfaro, 2016). Estos patrones de crecimiento tienen grandes implicaciones para los puertos —mayores requerimientos de espacio, energía, capacidad logística, dotación de personal— las cuales han complicado las relaciones entre el puerto y la ciudad.

Si esta expansión continua, daría lugar a la etapa de separación en la que se produce una fractura entre la ciudad y el puerto. Este conflicto radica en que existe un contraste pronunciado entre las condiciones sociales de la ciudad y las oportunidades económicas que brinda el puerto. El objetivo último es armonizar las relaciones entre el puerto y la ciudad, apuntando a la colaboración y a la convivencia.

Dada la complejidad de este contexto, se impone la incorporación de la tecnología de gemelos digitales, con todos sus componentes e interfaces; la cual puede aplicarse desde la fase de diseño hasta la operación cotidiana. Existen desarrollos en este sentido que pueden ser tomados de ejemplo de factibilidad de aplicación de los conceptos de simulación digital aplicada que de forma natural impacten en los conglomerados de actividad humana.

VI. Bibliografía

- Alfaro, K. E. (2016), “La relación puerto-ciudad: 3 maneras de lograr un desarrollo unificado”, mayo [en línea] <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/relacion-puerto-ciudad>.
- Aquino, J. A. (2020), “Los gemelos digitales, la última frontera de la Ingeniería Mecatrónica”, noviembre [en línea] https://www.researchgate.net/publication/348850216_Los_gemelos_digitales_la_ultima_frontera_de_la_Ingenieria_Mecatronica.
- Barleta, E., Pérez Salas, G., y Sánchez, R. (2020), “La revolución industrial 4.0 y el advenimiento de una logística 4.0”, *Boletín FAL* 375, número 7, abril, Santiago de Chile.
- Bosque Peón, C. del (2019), “Los gemelos digitales en la Industria 4.0”, junio [en línea] <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/40037/TFG-E-744.pdf;jsessionid=2oEDC56AAB9A1EE5717CAA01C2228ED?sequence=1>.
- Government of Singapore (2021), *Virtual Singapore*, febrero [en línea] <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>.
- Govtech Singapore (2017), “5 things to know about Virtual Singapore”, marzo [en línea] <https://www.tech.gov.sg/media/technews/5-things-to-know-about-virtual-singapore>.
- Grupo C de Comunicación Interprofesional, S. (2019), “El modelo de gemelo digital mejora las operaciones logísticas”, junio [en línea] <https://logistica.cdcomunicacion.es/noticias/proveedores/32939/el-modelo-de-gemelo-digital-mejora-las-operaciones-logisticas> “El modelo de gemelo digital mejora las operaciones logísticas.
- Hellenic Shipping News (2020), “Smart Ports are the Gates to the Maritime Industry’s Digital Future”, octubre [en línea] <https://www.hellenicshippingnews.com/smart-ports-are-the-gates-to-the-maritime-industrys-digital-future>.
- Lind y otros (2020), “Digital twins for the maritime sector” [en línea] <https://smartmaritimenetwork.com/wp-content/uploads/2020/07/Digital-twins-for-the-maritime-sector.pdf>.
- Markets and Markets (2020), “Global Smart Ports Market Trends” [en línea] <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-ports-market-165784113.html>.
- Morales, F. (2021), “Aproximación al gemelo digital para el sector AECO, más allá de BIM”, junio [en línea] <https://www.buildingsmart.es/2021/06/15/aproximaci%C3%B3n-al-gemelo-digital-para-el-sector-aeco-m%C3%A1s-all%C3%A1-de-bim>.
- Naucher Global, (2020), “Los beneficios de los ‘gemelos digitales’ en el sector marítimo”, agosto [en línea] <https://www.naucher.com/los-beneficios-de-los-gemelos-digitales-en-el-sector-maritimo>.
- News, H. S. (2020), “Puertos inteligentes y la industria marítima”, octubre [en línea] <http://rm-forwarding.com/2020/10/29/puertos-inteligentes-y-la-industria-maritima>.
- Panaggio, M. (2020), “Gemelos Digitales en la Cadena de Suministros”, agosto [en línea] <https://www.obsbusiness.school/blog/gemelos-digitales-en-la-cadena-de-suministros>.
- Samaniego, J. F. (2018), “¿Gemelos digitales? La clave menos conocida de la industria 4.0”, junio [en línea] <https://hablemosdeempresas.com/empresa/que-es-digital-twin>.
- Technavio (2020), “Digital Twin Market by End-user, Deployment, and Geography - Forecast and Analysis 2022-2026”, mayo [en línea] <https://www.technavio.com/report/digital-twin-market-size-industry-analysis>.
- Trelleborg (2020), *Use of big data in the maritime industry* [en línea] https://www.trelleborg.com/marine-and-infrastructure/~/_media/marine--systems/resources/whitepapers--and--barometer--reports/downloads/tms_smartport_insightbee_report.pdf?la=en.
- World Economic Forum (2016), “*mastering the fourth industrial revolution*”, enero [en línea] <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/9-quotes-that-sum-up-the-fourth-industrial-revolution/>.

VII. Anexo

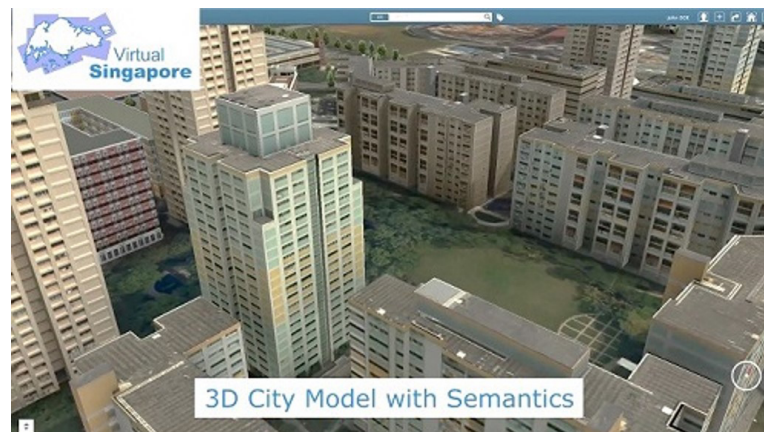
Estudio de caso: el gemelo digital de Singapur

Uno de los principales proyectos de desarrollo y aplicación práctica de gemelos digitales es el de la ciudad-estado insular de Singapur, conocido como Singapur Virtual. El modelo es uno de los más ambiciosos proyectos de gemelos digitales a nivel mundial, y consiste en una representación dinámica tridimensional (3D) de la ciudad en una plataforma de datos colaborativos. El proyecto es una colaboración entre la Fundación Nacional de Investigación (NRF, de la sigla en inglés), la Autoridad de Tierras de Singapur (SLA, de la sigla en inglés), que proporciona datos de mapas topográficos para el modelo 3D, y la Agencia de Tecnología del Gobierno de Singapur (GovTech), que proporciona información, tecnología y comunicaciones (Govtech Singapore, 2017).

Para construir una ciudad virtual fácilmente navegable en el proyecto, NRF también está colaborando con la empresa de *software* francesa *Dassault Systèmes*, que se especializa en *software* de diseño 3D (Govtech Singapore, 2017). Con esto, el gemelo digital permitirá a los usuarios de diferentes sectores utilizar modelos de simulación para optimizar operaciones logísticas, desarrollar herramientas y aplicaciones sofisticadas de planificación y toma de decisiones, así como investigación de nuevas tecnologías.

El modelo 3D comprende información detallada como textura, representación material de objetos geométricos, atributos del terreno, cuerpos de agua, vegetación, infraestructura de transporte, etc. Los modelos de edificios codifican la geometría, así como los componentes de una instalación, como paredes, pisos y techos, hasta sus detalles finos, como la composición de granito, arena y piedra en un material de construcción. Entre las posibilidades, el sistema también permitirá, por ejemplo, medir la temperatura, la presión, la humedad, las luces, los niveles de ruido, la temperatura infrarroja, así como el movimiento y el conteo de pasos (Government of Singapore, 2021).

Además, el modelo virtual posibilitará el *Virtual Test-Bedding*, plataforma de pruebas para validar la prestación de servicios, por ejemplo, con modelos de la dispersión de multitudes para establecer procedimientos de evacuación durante una emergencia. Ofrecerá también un rico entorno de datos para la planificación y toma de decisiones para analizar los flujos de transporte y los patrones de movimiento de los peatones (Government of Singapore, 2021), lo que, en el contexto de la logística, permitirá beneficios significativos.



Fuente: Government of Singapore (2021), <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>.

Posibles aplicaciones y beneficios para las partes interesadas

Con las debidas garantías de seguridad y privacidad, Singapur Virtual permitirá a las agencias públicas, la academia y la comunidad de investigación, el sector privado y también a la comunidad hacer uso de la información y capacidades del sistema de diferentes maneras. La provisión de geo-visualización e información en 3D proporcionará una plataforma virtual realista para conectarse, crear conciencia y servicios que enriquezcan a la comunidad (Government of Singapore, 2021).

Las empresas, por ejemplo, pueden aprovechar la gran cantidad de datos e información dentro del gemelo digital para análisis de negocios, planificación y gestión de recursos y servicios especializados. Las capacidades de Singapur Virtual permiten innovaciones y la creación de tecnologías para colaboraciones público-privadas. Al aprovechar el entorno de *big data* y agregar información del sector público y privado, la herramienta permite que diferentes agencias compartan y revisen los planos y diseños de distintos proyectos en un mismo entorno.

Además, Singapur Virtual resulta conveniente para que los ciudadanos visualicen las actualizaciones de su patrimonio y les permite proporcionar comentarios oportunos a las agencias relevantes. Como representación precisa del paisaje físico, se puede utilizar para identificar y mostrar rutas sin barreras para discapacitados y ancianos. Así, pueden encontrar fácilmente la ruta más accesible y conveniente, e incluso caminos protegidos, hasta paradas de autobuses o estaciones del metro. También se puede utilizar la plataforma para visualizar conectores de parques y planificar rutas ciclistas.

En el ámbito del urbanismo, se puede proporcionar información sobre cómo varían la temperatura ambiente y la luz solar a lo largo del día. Los planificadores e ingenieros urbanos pueden visualizar los efectos de la construcción de nuevos edificios o instalaciones sobre la temperatura y la intensidad de la luz. Además, pueden superponer mapas de calor y ruido para simulación, lo que puede ayudar a crear un entorno de vida más cómodo y fresco para los residentes. También se admite un proceso de planificación semiautomático en el que se pueden filtrar rápidamente los edificios de interés en función de parámetros preestablecidos (Government of Singapore, 2021).

En la temática de la planificación y uso de energía, datos como la altura de los edificios, la superficie de los tejados y la cantidad de luz solar están disponibles en Singapur Virtual. Esto permite a los urbanistas analizar qué edificios tienen un mayor potencial de producción de energía solar y, por tanto, más adecuados para la instalación de paneles solares. Un análisis más detallado puede permitir a los planificadores estimar cuánta energía solar se puede generar en un día típico, así como los ahorros de energía y costos. Se ha demostrado que, mediante la referencia cruzada con los datos históricos recopilados de los edificios vecinos, este análisis se puede validar y ajustar estacionalmente para reflejar una proyección aún más precisa y granular (Government of Singapore, 2021).

Todos estos ejemplos permiten una mejor planificación urbana a través del análisis y prueba de diferentes escenarios. El gemelo digital es, por tanto, una solución importante e innovadora también para la planificación urbana, con diferentes posibilidades de uso, tanto para el día a día en las ciudades como para las actividades en puertos y operaciones logísticas.

VIII. Publicaciones de interés



Boletín FAL N° 375

La revolución industrial 4.0 y el advenimiento de una logística 4.0

Eliana Barleta
Gabriel Pérez
Ricardo Sánchez

La llamada cuarta revolución industrial (4RI) trae aparejada una serie de cambios disruptivos tanto en los modelos de negocios como en las cadenas productivas que los sustentan. La logística, como parte fundamental de estos procesos, no queda ajena a estos cambios trascendentales. Esta cuarta revolución industrial se caracteriza por la velocidad, la amplitud y profundidad en que ocurre. Los cambios son tan vertiginosos que cambiarán la manera como vivimos, trabajamos y nos relacionamos, impactando a los países, las empresas, las industrias, y la sociedad en su conjunto. El sistema logístico del futuro, en consecuencia, apunta a la interconectividad de la información, la optimización del tiempo y los recursos, con una fuerte inversión y desarrollo en innovación para mantener su competitividad.

Disponible en:



Boletín FAL N° 382

La ciberseguridad en tiempos del COVID-19 y el tránsito hacia una ciberinmunidad

Rodrigo Mariano Díaz

El presente *Boletín FAL* se inscribe dentro de las reflexiones sobre tecnologías disruptivas en el transporte que la CEPAL suele realizar en estas entregas. En esta oportunidad analiza la importancia de la ciberseguridad en el contexto logístico, especialmente en el contexto actual de pandemia.

Disponible en: