



# The implementation of Industry 4.0 technologies in the operations of Smart Ports in Asia Pacific during the years 2018 to 2023

Lucio Joaquin Arenas Cahuana, Bachelor in International Business Administration<sup>1</sup>, Deborah Alessandra Cardenas Quintana, Bachelor in International Business Administration<sup>2</sup>, Jeferson Sanchez Huaman, Bachelor in International Business Administration<sup>3</sup>, Xiomara Vanessa Valenzuela Tenorio, Bachelor in International Business Administration<sup>4</sup>, Sandro Elias Villaverde Perez Bonany, Bachelor in International Business Administration<sup>5</sup>, Judith Cielo Milla Morales, Bachelor in International Business Administration<sup>6</sup>, and Juan Eduardo Acosta Mantaro, Doctor of Business Administration<sup>7</sup>  
<sup>1-7</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Peru, u20161c866@upc.edu.pe, t201504101@upc.edu.pe, u201617379@upc.edu.pe, u201811656@upc.edu.pe, u201811824@upc.edu.pe, u201815172@upc.edu.pe, pcadjuac@upc.edu.pe

*Abstract– This research aims to describe the available literature on the implementation of industry 4.0 technologies in intelligent ports or Smart ports in Asia Pacific region during the years 2018 to 2023. This bibliographic review employed three thematic axes (transportation automation, the Internet of Things, and artificial intelligence) to study the available articles published in the Scopus and Web of Science databases. Through a rigorous selection, a total of 30 research articles were chosen and analyzed. On one hand, the results highlight benefits such as the reduction in internal processes costs, a decrease in environmental pollution, and an improvement in Smart Port service quality and green energy implementation. On the other, Some of the challenges encountered were the prohibitively high implementation costs for less developed countries, as well as the increased risk of hacking for information theft in Smart ports.*

*Key Words: Smart ports, Industry 4.0, Artificial intelligence (AI), Asia Pacific, Automation, Robotics, Technology, Logistics, Ports*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LEIRD).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LEIRD).  
**DO NOT REMOVE**

# La implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en las operaciones de los Smart Ports en Asia Pacífico durante los años 2018 a 2023

Lucio Joaquin Arenas Cahuana, Bachiller en Administración y Negocios Internacionales<sup>1</sup>, Deborah Alessandra Cardenas Quintana, Bachiller en Administración y Negocios Internacionales<sup>2</sup>, Jeferson Sanchez Huaman, Bachiller en Administración y Negocios Internacionales<sup>3</sup>, Xiomara Vanessa Valenzuela Tenorio, Bachiller en Administración y Negocios Internacionales<sup>4</sup> Sandro Elias Villaverde Perez Bonany, Bachiller en Administración y Negocios Internacionales<sup>5</sup>, Judith Cielo Milla Morales, Bachiller en Administración y Negocios Internacionales<sup>1</sup>, and Juan Eduardo Acosta Mantaro, Doctor en Administración de Negocios<sup>1</sup>

<sup>1-7</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Peru, u20161c866@upc.edu.pe, t201504101@upc.edu.pe, u201617379@upc.edu.pe, u201811656@upc.edu.pe, u201811824@upc.edu.pe, u201815172@upc.edu.pe, pcdjuac@upc.edu.pe

**Resumen**– *El objetivo de la investigación es describir la literatura disponible acerca de la implementación de las tecnologías de la industria 4.0 en los puertos inteligentes o “Smart ports” en la región Asia Pacífico entre los años 2018 y 2023. Esta revisión bibliográfica emplea tres ejes temáticos (la automatización del transporte, el Internet de las cosas y la inteligencia artificial) para estudiar los artículos de investigación publicados en las bases de datos Scopus y Web of Science. Mediante una rigurosa selección, se eligieron y analizaron un total de 30 artículos de investigación. Los resultados, por un lado, resaltan beneficios como una reducción de costos en los procesos internos y mejora en la calidad de servicios de los Smart ports así como una disminución de la contaminación ambiental e implementación de energía verde en los mismos. Algunos de los desafíos encontrados fueron los elevadísimos costos de implementación para los países menos desarrollados, así como el aumento del riesgo de hackeos para el robo de información en los Smart ports.*

**Palabras claves:** *Smart ports, Industria 4.0, Inteligencia artificial (IA), Asia Pacífico, Automatización, Robótica, Tecnología, Logística, Puertos*

## I. INTRODUCCIÓN

La “Industria 4.0” ha hecho transformaciones de gran envergadura en diversos sectores industriales a nivel global y se prevé que siga influyendo en la manera en que lleguen las empresas llevan a cabo sus operaciones y prestarán beneficios a sus clientes; por ejemplo, se están produciendo cambios tecnológicos importantes, tanto a nivel digital como físico, que están modificando la manera en que las organizaciones interactúan con su entorno [1]. Entre las muchas industrias que han sido impactadas por la industria 4.0 se encuentra la industria naval, y en particular, los puertos inteligentes [2]. La implementación de las tecnologías de la industria 4.0 en los puertos ha sido un tema relevante desde el año 2010, cuando varios puertos del mundo pasaron de ser puertos logísticos a puertos inteligentes 4.0 [3].

Estos puertos utilizan tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la eficiencia y la seguridad de las operaciones portuarias, lo que a su vez mejora el servicio al cliente y reduce los costos para las organizaciones involucradas [4]. Por esta razón, la investigación se centra en caracterizar las principales tecnologías de la I.4.0 vinculado a los “puertos Inteligentes”, con el objetivo de proporcionar una comprensión más clara de las tendencias y los desafíos que enfrentan los puertos en la actualidad [5]. En última instancia, esta investigación ayudará a entender mejor cómo pueden ser aprovechadas las tecnologías emergentes para mejorar sus operaciones portuarias y seguir siendo competitivas en un entorno empresarial en constante evolución.

Hoy, los puertos marítimos son puntos logísticos y de cadena de suministros con mayores estándares de operaciones, lo que los convierte en uno de los sectores más competitivos. En ese sentido, la digitalización ha sido clave para mantener esta competitividad con los años, gracias a la automatización de procesos [5]. En este contexto, se explicará por qué (i) la automatización del transporte, (ii) el Internet de las cosas (IoT) y (iii) la inteligencia artificial (IA) actualmente son tecnologías vinculadas a la I.4.0 en tendencia en los *smartport* a nivel mundial. Además, se desarrollará el motivo por el cual se debe priorizar la implementación de estas tecnologías en futuros puertos con la capacidad de convertirse en *smartport*.

Actualmente, los países de Asia-Pacífico lideran el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías en la logística portuaria, con China y la República de Corea a la vanguardia en automatización [6]. Como resultado, el liderazgo de los puertos asiáticos en la adopción de estas tecnologías ha llevado a una mayor concentración de transacciones comerciales en la región, ya que el 75% de los puertos en el top 20 del mundo pertenecen a esta área geográfica [7]. Además, debido al actual interés en la

sostenibilidad y el programa Puertos Mundiales Sostenibles promovido por las Naciones Unidas, las tecnologías de la industria 4.0 se presentan como aliados importantes en la reducción de la huella de carbono y el uso más eficiente de los recursos [8]. En resumen, los puertos inteligentes están en constante proceso de implementación y mejora de las tecnologías de la industria 4.0 para la logística portuaria, lo que constituye un tema de investigación relevante y en evolución constante.

## II. METODOLOGÍA

Se utilizó una metodología de revisión bibliográfica en tres etapas para llevar a cabo una investigación descriptiva básica que identifique las revisiones de literatura previas, relacionadas con los *smart ports* y la industria 4.0,

Para la primera etapa, se buscó en los repositorios académicos de *Web of Science* y *Scopus* siendo los más usados para esta investigación. La búsqueda empleo las palabras clave “*smart port*” e “*industry 4.0*”. Asimismo, los resultados fueron limitados temporalmente al intervalo de años 2018 - 2023. Es importante mencionar que solo fueron escogidos los artículos que tuvieran el acceso disponible. Posteriormente, se aplicaron criterios de búsqueda y selección para contar con un buen nivel en la calidad de información y descartar aquellos artículos que no estuvieran relacionados con el objeto de estudio o carecieran de relevancia. El principal criterio utilizado fue la calidad en cuartiles, llegando a utilizar solo artículos de investigación que se encuentren entre los cuartiles 4, 3, 2 y 1. En la plataforma de Scopus se obtuvo un total de 41 artículos, mientras que en Web of Science el total fue de 30 artículos. Entre los papers obtenidos en ambos repositorios académicos se seleccionó un total de 15.

En las subsiguientes etapas se procedió a añadir nuevas palabras clave, para incrementar la información disponible sobre el tema de estudio. En la segunda etapa, la búsqueda combino “*smart port*” con nuevas palabras clave: “*Artificial Intelligence*”, “*Automation*” e “*Internet of Things*”, obteniendo 10 artículos adicionales. En cuanto a la tercera etapa, se añadieron nuevas palabras clave: “*seaport*” y “*port*”, añadiendo 5 fuentes nuevas. Después de haber recopilado las fuentes bibliográficas más relevantes y alineadas con las dimensiones, se realizó una matriz en Excel detallando los 30 artículos seleccionados.

Asimismo, para la selección de las citas se utilizó el software Atlas.ti, el cual permitió estructurar las citas mediante códigos y categorías que tengan relación con cada una de nuestras 3 dimensiones seleccionadas. Se crearon un total de 13 códigos de citas separados en las dimensiones de Automatización, Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas (ver tabla 1). Finalmente, se realizaron mapas mentales en los cuales se mostraba la conexión de las citas seleccionadas con su dominio correspondiente. Además, se

realizó un cuadro mostrando los códigos realizados separados por Campo, Codificación, el tipo de objetivo y la cantidad de citas con las que cuenta cada código. Mayormente, los códigos se separan entre los beneficios, ventajas, sostenibilidad, implementación y los riesgos que cada dimensión puede generar al momento de ser utilizado en los *smart ports*.

TABLA I  
CANTIDAD DE CITAS POR CODIFICACIÓN REALIZADA EN ATLAS TI

No.	Tipo de objetivo	Campo	Codificación	Cantidad de citas
1	1	Automatización	Beneficios de la automatización	8
2	1	Automatización	Implementación de la automatización	21
3	1	Automatización	Resultados de la automatización	16
4	1	Automatización	Importancia de la automatización	15
5	2	Internet de las cosas	Implementación del IOT	30
6	2	Internet de las cosas	Beneficios del IOT	4
7	2	Internet de las cosas	Sostenibilidad con IOT	6
8	2	Internet de las cosas	Comunicación M2M	7
9	2	Internet de las cosas	Riesgos del IOT	6
10	3	Inteligencia Artificial	Implementación de la IA	19
11	3	Inteligencia Artificial	Incertidumbre de la IA	3
12	3	Inteligencia Artificial	Beneficios de la IA	14
13	3	Inteligencia Artificial	Digitalización Portuaria	16

## III. RESULTADOS

### A. La automatización implementada en los *smartports*

La implementación de la digitalización en el sistema portuario se vuelve fundamental para impulsar soluciones seguras y atractivas que establezcan conexiones eficientes entre el puerto y sus cadenas logísticas. Esto nos llevará a avanzar hacia la automatización de las operaciones portuarias y a agilizar las respuestas en situaciones de emergencia [9]. La adopción de la automatización en los puertos se vincula estrechamente con la digitalización, ya que ambas se consideran las principales vías para mejorar la productividad en los puertos inteligentes [5].

En el análisis bibliográfico realizado, se obtuvieron múltiples hallazgos similares en relación con la adopción de esta tecnología y los beneficios a los que conlleva. La automatización de la logística inteligente en la Industria 4.0 impulsa la eficiencia y precisión en la distribución de carga al utilizar el big data, IoT y IA. Esto permite lograr una optimización en los procesos, mejorar en la toma de decisiones y automatizar la entrega, brindando beneficios significativos en la eficiencia logística y la gestión de la carga [10]. Al utilizar tecnologías como el 5G, se logra una mayor conectividad y señalización entre la sala de control y los equipos portuarios, lo que permite una mayor eficiencia operativa y beneficios en la capacidad del terminal [11].

También, su implementación en los puertos es la clave para impulsar la competitividad en la industria marítima, ya que, al aprovechar tecnologías como los vehículos guiados automatizados y las grúas de muelle, se establecen las bases para la revolución del Internet de las Cosas (IoT) en los puertos inteligentes y de cómo la automatización junto a la integración de dispositivos inteligentes pueden ser una mejora general en la cadena de suministro marítima [12]. Su aplicación para el manejo de contenedores en terminales portuarios también es crucial en la eficiencia y productividad de la cadena de suministro, mejora la conexión inalámbrica a los vehículos de guiado automático (AGV), además de que permite una transferencia eficiente de contenedores desde el barco hasta las grúas de tierra en las yardas de carga ayudando a reducir los tiempos de espera, los errores humanos y los costos operativos [11].

En definitiva, los estudios concuerdan en la relevancia de los datos y el análisis como factores clave para obtener un valor adicional al automatizar el transporte a lo largo de la cadena de suministro. Además, se ha investigado la digitalización en puertos marítimos específicos y se ha explorado el potencial desarrollo del Internet físico en dichos entornos [5]. En la gran mayoría de los estudios investigativos sobre la implementación de la automatización en los puertos inteligentes, se destaca la adopción de dicha automatización como un impulso hacia la innovación en la industria marítima en su conjunto. De igual manera, ha demostrado ser una solución efectiva para mejorar la eficiencia y la productividad en esta misma industria, ya que la implementación de sistemas automatizados en los terminales permite optimizar las operaciones y maximizar el uso del espacio disponible, lo que puede conducir a la reducción de costos y tiempos de carga más eficientes [13]. En términos del aspecto social, la implementación de la automatización presenta ventajas al reducir la dependencia de la mano de obra humana, lo que aborda desafíos como la dificultad para contratar personal a bordo y la disminución de errores cometidos por humanos [14]. En consecuencia, se puede afirmar que la automatización genera beneficios en el ámbito social, ya que al automatizar determinados procesos portuarios se logra reducir los riesgos laborales y la

probabilidad de accidentes, lo cual tiene un impacto directo en los trabajadores.

A partir de estas citas, se puede concluir que la automatización en los puertos inteligentes no solo busca aumentar la eficiencia y reducir costos, sino también mejorar la calidad del servicio, aumentar la seguridad y contribuir a la sostenibilidad ambiental [15]. La capacidad de los puertos automatizados para densificar sus operaciones y utilizar de manera óptima el espacio disponible puede llevar a la creación de terminales más compactos y eficientes [13]. Por eso, la automatización en los puertos inteligentes es fundamental en la búsqueda de objetivos. Al implementar sistemas automatizados, los puertos tienen la capacidad de optimizar el uso del espacio disponible y densificar sus operaciones. Esto puede conducir a la creación de terminales más compactos y eficientes, lo que a su vez aumenta la capacidad de manejo de carga y facilita el flujo de mercancías.

En cuanto a los resultados de la integración de la tecnología con las prácticas de la Industria 4.0, en la gestión de la construcción de puertos inteligentes puede conducir al desarrollo sostenible global; además, el desarrollo portuario que incluye la logística portuaria también puede usar el mapeo de rutas para explorar cómo las tecnologías digitales impactan en su evolución de las cadenas de valor globales, rendimiento como reducir el tiempo de respuesta sin perder su competitividad y tomar decisiones o estrategias en tiempo real a corto o largo plazo [12]. También, la digitalización puede proporcionar una conectividad más amplia y rápida entre toda la cadena logística marítima que no solo mejorará la eficiencia de la terminal, sino que también protegerá a los trabajadores de primera línea en el mar o en tierra mediante la aplicación de Internet de las cosas, inteligencia artificial, red 5G y *blockchain* en puertos; por ejemplo, a través de sensores es posible monitorear en tiempo real los componentes o verificar el estado de los equipos que ayudarán en el futuro entorno post pandemia a lograr objetivos financieros o no financieros [16].

En lo que respecta a la implementación, un ejemplo destacado es el caso de Asia Pacífico, que se ha caracterizado por ser una de las regiones que menos ha tardado en implementar la automatización en sus terminales [13]. Asimismo, dichas operaciones, especialmente la de manejo de contenedores, han demostrado mayor eficiencia energética debido a la agilización de las operaciones de carga y la reducción de la necesidad de mano de obra, lo que también ha resultado en una disminución de costos y precios, generando así una ventaja competitiva para el puerto [15]. Otra de las ventajas obtenidas por la aplicación de esta tecnología es la protección a los trabajadores fronterizos eliminando los riesgos de contacto innecesarios [16]. Además, se ha observado que la automatización ha permitido una mayor conectividad entre la sala de control y el equipo portuario en los terminales de contenedores, lo que ha

resultado en mejoras en la eficiencia operativa y en la capacidad de la terminal [11].

Un caso de estudio reveló que la automatización en una nueva sala de máquinas permitió extender su funcionamiento hasta 67 días más que las máquinas convencionales, garantizando la operación segura de los componentes de alto impacto sin supervisión de manera segura. Según Allianz, el factor humano es determinante en el 75% al 96% de los accidentes marítimos. Ejemplos notables de proyectos de automatización incluyen el proyecto MUNIN, financiado por la Comisión Europea, que desarrolla un barco controlado por sistemas automatizados a bordo y supervisado de forma remota, y el proyecto AAWA, que busca convertir embarcaciones de corta distancia en barcos autónomos [14].

Para el puerto marítimo de Wismar la aplicación de la automatización completa sostenible para los procesos de carga tuvo éxito, logrando un ahorro del 45% de emisiones de CO<sub>2</sub> en todo el puerto, además de mejoras en el rendimiento operativo que incluye el rendimiento del tiempo de carga, el mantenimiento de una tasa de ocupación óptima del 100% en la planta de carga a granel y la reducción del precio de carga para los clientes [15].

En resumen, la automatización es fundamental en la transformación de los puertos hacia entornos inteligentes y sostenibles. La digitalización y la automatización permiten una mejor coordinación y toma de decisiones, optimizan el uso de los recursos y mejoran la eficiencia operativa en los terminales marítimos. Al reducir la dependencia de la mano de obra humana, la automatización puede superar desafíos como la escasez de personal y los errores humanos, al tiempo que mejora la seguridad y la sostenibilidad. La adopción de la automatización en los puertos es esencial para aprovechar las oportunidades de la industria marítima en constante evolución y enfrentar los desafíos futuros de manera eficiente.

#### *B. El Internet en las cosas (IoT) implementado en smartports*

Diversos trabajos han enfatizado la importancia de integrar el IoT en los puertos inteligentes para compartir datos de manera eficiente entre los agentes portuarios [1]. Esta integración permite una comunicación fluida y una interacción más frecuente entre los puertos, transportistas y operadores, lo que mejora la eficiencia en las operaciones portuarias [17]. Además, se define a los puertos inteligentes como aquellos en los que todos los dispositivos están conectados a través del IoT, resaltando así el papel vital de las tecnologías de la información en este contexto [10].

En ese sentido, el uso de plataformas a base del internet de las cosas tiene como objetivo una interconexión colaborativa que facilite el intercambio de información entre equipos e infraestructuras diversas, con el propósito de implementar aplicaciones inteligentes [7]. Esta tecnología promueve el desarrollo de los *smart ports*, ya que posibilitan a los operadores portuarios supervisar de manera efectiva la eficiencia operativa, el impacto ambiental y el nivel de

seguridad [18]. Asimismo, las plataformas de este tipo recopilan datos de la situación operativa actual del puerto y utilizan técnicas analíticas avanzadas para incrementar la capacidad de predicción [3]. Por ello, en Indonesia se diseñó este tipo de plataforma para los puertos marítimos, la cual aún no ha sido implementada, donde los usuarios de los servicios portuarios tienen la posibilidad de acceder con el fin de colaborar en el proceso y contribuir a la prestación del servicio [19]. De igual manera, la tecnología IOT puede aplicarse a los barcos inteligentes para mejorar en la eficiencia energética, la comunicación y la navegación en las operaciones y el mantenimiento de los barcos [20].

Agregado a esto, la implementación de la Internet de las cosas (IoT) en los puertos inteligentes ha transformado la forma en que se gestionan los dispositivos y la comunicación en estos entornos. La arquitectura de microservicios juega un papel crucial al permitir la construcción de sistemas heterogéneos con elementos desacoplados, distribuidos en diferentes plataformas y estructurados en diferentes niveles de abstracción [19]. Por esta razón, la arquitectura de microservicios ofrece un enfoque efectivo para gestionar la comunicación y los dispositivos en los puertos inteligentes. Esta arquitectura permite la construcción de sistemas flexibles y escalables, con elementos independientes que pueden interactuar entre sí a través de mecanismos de comunicación proporcionados por la tecnología web. Al adoptar esta arquitectura, los puertos pueden lograr una mayor interoperabilidad, facilitando la integración de dispositivos IoT y mejorando la eficiencia en la gestión de los servicios portuarios.

La comunicación máquina a máquina (M2M), potenciada por la conectividad mejorada entre puertos, transportistas y operadores gracias al IoT, juega un papel fundamental en el establecimiento de un comercio colaborativo. Esta comunicación frecuente y la interacción entre las partes involucradas generan efectos sinérgicos a través de actividades portuarias electrónicamente vinculadas y transacciones comerciales relacionadas [17]. Por este motivo, la comunicación M2M, impulsada por el Internet de las cosas (IoT), desempeña un papel vital en la promoción del comercio colaborativo en los puertos. La mejora de la conectividad entre puertos, transportistas y operadores facilita una comunicación más frecuente e interacción entre ellos. Esto, a su vez, crea efectos sinérgicos al permitir actividades portuarias vinculadas electrónicamente y transacciones comerciales relacionadas. La comunicación M2M potencia la colaboración y la eficiencia en el intercambio de información y procesos comerciales, lo que contribuye a un funcionamiento más fluido y mejorado de los puertos inteligentes.

En otras palabras, la implementación del IoT en los puertos inteligentes ha revolucionado la comunicación M2M en estos entornos. La arquitectura de microservicios, la integración eficiente de datos, la interconexión de

dispositivos y la comunicación en tiempo real han mejorado la eficiencia operativa de los puertos y han establecido las bases para el desarrollo de puertos inteligentes más conectados y productivos.

Por otro lado, la implementación de las tecnologías IoT ha permitido a distintos puertos del mundo mejorar sus sistemas de sostenibilidad. En el desarrollo de puertos inteligentes, se pueden utilizar nuevas herramientas y enfoques de tecnología de la información para coordinar flujos de carga, monitorear y equilibrar la contaminación, examinar cuellos de botella de tráfico y encontrar soluciones tecnológicas a problemas emergentes [18]. Estas soluciones impulsadas por el IoT permiten un control más eficiente de las operaciones portuarias sin la necesidad de una intervención humana directa, gracias a la interconexión en línea de sensores y actuadores [17].

Por estas razones, la implementación de la IoT en los puertos inteligentes tiene un impacto significativo en la sostenibilidad, ya que tiene la capacidad para estimar con precisión el tiempo de arribo y entrega de las naves en los puertos, reduciendo el tiempo de espera de las naves, disminuyendo las emisiones de GEI y la huella de carbono [21]. Además, desempeña un papel crucial en la promoción de la sostenibilidad en los puertos inteligentes, ya que puede recopilar y procesar datos relacionados con diversas formas de contaminación, como la contaminación del aire, la contaminación lumínica, la contaminación acústica, la contaminación del agua, entre otro más; estas tecnologías permiten un uso más amplio de los datos recopilados, lo que conduce a un sistema de cadena de suministro portuario más inteligente [18].

Por otra parte, se destaca que el uso de la sostenibilidad en la IoT en los puertos inteligentes permite identificar situaciones críticas, como cuando una unidad de contenedor refrigerado se queda sin energía o se desconecta al recibir esta información en tiempo real, se pueden tomar medidas rápidas y eficientes para resolver el problema y evitar cualquier pérdida o daño en la carga [3].

En consecuencia, los puertos inteligentes están utilizando el IoT, el *big data*, la automatización y la tecnología verde para reducir la contaminación y promover el reciclaje de recursos, dichas tecnologías permiten la comunicación en tiempo real entre dispositivos y sensores, facilitando la recopilación de datos sobre consumo de energía, emisiones y niveles de contaminación [17]. En síntesis, el IoT y otras tecnologías en los puertos inteligentes están impulsando la sostenibilidad al reducir la contaminación, optimizando el consumo de energía y promoviendo el reciclaje de recursos, de esta manera estas soluciones tecnológicas están transformando la industria portuaria hacia un enfoque más ambientalmente consciente y eficiente.

Sin embargo, según los resultados obtenidos existen algunas preocupaciones adicionales relacionadas con su

desarrollo. Estas preocupaciones incluyen posibles problemas de seguridad, como ataques cibernéticos, que podrían afectar la plataforma de IoT. Además, un puerto inteligente puede plantear dificultades en la integración de múltiples tecnologías que se necesitan para la creación, transmisión, almacenamiento y protección de datos [17]. Esto nos indica que la implementación de las IOT causaría que los ciberataques sean más frecuentes y tendría que realizarse un gasto adicional en seguridad. Otro problema también relacionado con los hackers es que la conexión a través de la Internet de las Cosas (IoT) en un puerto inteligente puede permitir a los hackers utilizar las capacidades computacionales del sistema, lo que representa un riesgo incluso en situaciones de emergencia donde se requiere una toma de decisiones rápida y precisa, también les permitiría poder ingresar a la nube de las IOT la cual podrían extraer mucha información valiosa para los puertos [22].

En resumen, la implementación del IoT en los puertos inteligentes ha transformado la forma en que se gestionan los dispositivos y la comunicación en estos entornos, mejorando la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la colaboración entre los agentes portuarios. Aunque existen desafíos relacionados con la seguridad y la integración de tecnologías, el potencial de mejorar la industria portuaria hacia un enfoque más ambientalmente consciente y eficiente es significativo.

#### C. *La Inteligencia Artificial implementada en smartports*

Diversos estudios han destacado que la digitalización en los puertos y la implementación de tecnologías de inteligencia artificial están ganando impulso, y se espera que mejoren la eficiencia y competitividad de los puertos. La disponibilidad de datos y el uso de tecnologías como el IoT, la inteligencia artificial y las redes 5G permiten una mayor conectividad y análisis de datos para una toma de decisiones más informada [11]. Estas tecnologías permiten el monitoreo remoto, la predicción de eventos críticos y el mantenimiento predictivo de equipos [16]. Agregado a ello, el uso de tecnologías como el IoT y las redes 5G permiten una mayor conectividad y monitoreo remoto de los equipos portuarios lo cual dichas iniciativas en conjunto prometen optimizar la gestión de los puertos y mejorar la calidad de los servicios ofrecidos, proporcionando un impulso significativo hacia la digitalización y la eficiencia en la industria portuaria. A pesar de que existe un creciente interés en el concepto de "puerto inteligente" en la literatura científica y profesional, no se ha propuesto una definición clara hasta ahora, aunque, varios estudios enfatizan la necesidad de una comprensión más amplia y proponen definiciones integradas en las diversas visiones de la comunidad científica [12].

Además, se destaca la importancia de la gestión de la tecnología en la construcción de puertos inteligentes para lograr un desarrollo sostenible en un contexto de riesgos climáticos y disrupciones en la cadena de suministro [15]. Por consiguiente, se obtuvo que el acelerado avance de tecnologías emergentes como el *big data*, Internet y la

inteligencia artificial ha generado nuevas perspectivas y posibilidades en las cadenas de suministro de los puertos por lo que implementar la inteligencia artificial en los embarcaderos traería consigo múltiples beneficios [23]. Con lo mencionado, se aprecia que las implementaciones de la inteligencia artificial en los puertos marítimos han mejorado y beneficios como mayor cuidado del medio ambiente, con la reducción de procesos y automatización de otros; y una mayor conectividad entre los procesos logísticos.

La incorporación de la inteligencia artificial en los puertos se ha descrito como una revolución que está transformando a la industria portuaria, teniendo cuatro ventajas destacables: La primera es la reducción del impacto de los factores climáticos en las operaciones de los terminales portuarios, la segunda ventaja es que conlleva a la mejora de la seguridad operativa, también, reduce la intensidad del trabajo y el error humano, así como los costos de mano de obra [24]. Gracias a dichas transformaciones se es posible recopilar datos sobre los envíos de mercancía, dando acceso tanto los trabajadores portuarios como a los clientes para que obtengan más información sobre sus cargas la cual está disponible desde la recepción durante el momento de la circulación de los contenedores [6].

Los puertos que han aplicado la inteligencia artificial para su desarrollo podrán mejorar significativamente su eficiencia y competitividad, para ello se identificó los indicadores de desarrollo más comunes en los puertos internacionales los cuales son: la seguridad, la protección, el medio ambiente, la energía, personalización, inteligencia, liberalización, y más; teniendo como referente el caso de los puertos de Taiwán, país perteneciente a Asia - Pacífico, los cuales cuentan como principales indicadores de desarrollo a los sistemas de ayuda de navegación y la seguridad del entorno laboral [25].

También se tiene el caso del puerto de Xaimen en China el cual es representa un hito en el continente asiático ya que es el primero en su tipo en estar completamente automatiza con un enfoque en la inteligencia artificial total y la ausencia total de emisiones, funcionando con alimentación eléctrica y logra un ahorro energético superior al 25% en comparación con las terminales tradicionales, trayendo consigo beneficios al puerto y también al medio ambiente; aquellos resultados obtenidos demuestran algunos de los beneficios que se pueden alcanzar al momento de relacionar la inteligencia artificial con alguna otra tecnología como en este caso es la automatización y se es posible generar grandes cambios [25].

Con base en los resultados que se han obtenido de los ejemplos sobre *smart ports* mencionados anteriormente se confirma que la implementación de la IA genera un beneficio muy alto al medio ambiente, ya que gracias a la IA se pudieron generar nuevos cambios en las formas de realizar procesos que redujeron el consumo de energía de los puertos. Por otro lado, en el caso de los puertos del país de Malasia, la mayoría todavía se encuentra en la etapa inicial de

investigación y desarrollo en la implementación de la inteligencia artificial, debido a que no se encuentran seguros de cómo obtendrían beneficios de ello o de cómo funciona; en cambio, en los puertos de China y Corea del Sur se ha evidenciado la incorporación de esta tecnología de forma proactiva, ya sea en sus procedimientos logísticos, almacenamiento, operaciones portuarias, etc. [6].

Adicionalmente, otro ejemplo de la eficiencia de la implementación de la IA es con respecto a su aplicación en el transporte de contenedores donde podemos usar el ejemplo de Tianjin, en el cual se ha desarrollado un innovador robot de transporte de inteligencia artificial (ART) para elevar el nivel de automatización y sin la necesidad de tripulación en la terminal interior; dado que este robot se encarga del transporte horizontal de contenedores de forma autónoma, eliminando la necesidad de conductores [26]. En este caso la automatización mediante el robot ART causa una reducción en los tiempos de movimiento de contenedores y la reducción de posibles daños por los conocidos errores humanos.

Igualmente otro beneficio de la implementación de la IA es que no solo mejora los procesos productivos internos de los puertos y generar mayor ganancia y cuidado al medio ambiente sino también ayuda en el nivel de satisfacción del cliente porque el servicio que ellos obtiene se encuentra optimizado, debido que al realizar la ejecución de dicho sistemas inteligentes en las operaciones de los puertos, tales como la planificación inteligente del tráfico y los modelos de negocios inteligentes, permitiría mejorar la buena gestión de las partes interesadas y aumentar la satisfacción del cliente [27].

En la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en los puertos inteligentes, es esencial estudiar el impacto de estas nuevas tecnologías en el ámbito organizacional y explorar los efectos de enfoques de aprendizaje automático más allá de las redes bayesianas [14]. Además, se destaca la necesidad de una digitalización efectiva y una integración sólida de las operaciones de extremo a extremo para lograr una transformación significativa sin la necesidad de intervención constante de operadores humanos [12]. La implementación de tecnologías de inteligencia artificial en los puertos inteligentes tiene un potencial significativo para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones en la industria portuaria. Es fundamental estudiar el impacto de estas tecnologías en el ámbito organizacional y explorar enfoques más allá de las redes bayesianas para aprovechar al máximo su potencial [14].

En un caso de estudio sobre el uso de inteligencia artificial en los puertos marítimos de Tianjin-China, se propuso utilizar Robots de Inteligencia Artificial de Transporte (ART) para abordar los desafíos de gestión de vehículos en las terminales de contenedores, como resultado se obtuvo que estrategia permitió reducir el tiempo de espera de los ART en un 22,8% en el área de trabajo de las grúas de

contenedores (QC), lo que a su vez mejoró la eficiencia general de carga y descarga en el puerto [26].

En suma, la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en los puertos inteligentes y la digitalización de las operaciones portuarias están impulsando mejoras en la eficiencia, la competitividad y la seguridad en la industria portuaria. Estas tecnologías permiten una mayor conectividad, análisis de datos avanzado y toma de decisiones basada en datos para lograr una transformación significativa en los puertos [27]. Además, se reconoce la importancia de la digitalización en la protección de los trabajadores en los puertos y terminales. La digitalización y la automatización no solo mejoran la eficiencia de las operaciones, sino que también reducen la necesidad de intervención humana directa, lo que puede ayudar a garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores [12].

#### IV. CONCLUSIONES

Para la presente investigación se plantean las siguientes conclusiones y recomendaciones con relación a los resultados obtenidos del análisis de las investigaciones obtenidas:

En primer lugar, la investigación menciona los beneficios que brindan las nuevas tecnologías de la industria 4.0 a las *smart ports*, demostrando que la implementación de estas genera un impacto positivo en los procesos, costos, seguridad y cuidado del medio ambiente. Tecnologías como la automatización lograron reducir el tiempo de procesos de traslado de contenedores, documentación y paletización, mejorando los tiempos, reduciendo costos y aumentando la satisfacción del cliente gracias al incremento de la eficiencia del servicio brindado por el puerto marítimo. Con respecto a la inteligencia artificial (IA), la investigación resalta la mejora en la toma de decisiones para los problemas que se presentan dentro de los puertos marítimos, como retrasos por cambios climáticos o retraso en el movimiento de cargas. Esto se debe al conocimiento y la rápida respuesta de la IA para seleccionar la solución óptima y menos costosa para el puerto. Cabe mencionar que las tecnologías de la industria 4.0 también disminuyen las posibilidades de que exista el "error humano" en algunos procesos del puerto, gracias al conocimiento que manejan las mismas.

En segundo lugar, los resultados obtenidos mostraron que la implementación de las tecnologías también cuenta con algunos aspectos negativos que podrían limitar su uso. Uno de estos sería el alto costo de poder implementarlas, puesto que al ser tecnologías nuevas y que recién están siendo implementadas, suelen tener precios muy elevados y son más recomendables para puertos que tengan la capacidad financiera para contar con esta tecnología sin generar mayores pérdidas. Por otro lado, tenemos el aumento de los riesgos de hackeo. Esto se debe al incremento del uso de la tecnología como Internet de las cosas (IoT), IA y automatización, que almacenan toda la información en una nube o servidores de los puertos, generando un riesgo de que

personas externas intenten extraer dicha información para uso ilegal.

#### V. RECOMENDACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Por otra parte, se concluye como recomendaciones obtenidas a lo largo del curso que los sistemas de automatización exploran tecnologías que van más allá de la robótica, como los sistemas de cargas y descargas guiados de manera autónoma, vehículos autónomos y sistemas de manipulación de contenedores que ayudan en el proceso para la optimización portuaria. Asimismo, se recomienda masificar el uso del IoT para la implementación de sensores y dispositivos que conectan en diferentes áreas del puerto y que sirve para la recopilación de los datos en tiempo real, y que ayuden a la predicción de posibles problemas dentro de la cadena de suministro. Junto a ello es indispensable crear una estrategia para la implementación de tecnologías futuras en los barcos actuales, que abarque la implementación del Internet de las Cosas (IoT), la automatización y la inteligencia artificial en los "*Puertos Inteligentes del Futuro*". Esto enfoque implica en desarrollar objetivos claros, identificar los procesos que se beneficiarán con estas tecnologías y elaborar un plan de acción detallado. La estrategia debe considerar aspectos como la inversión requerida, el retorno de inversión, la capacitación del personal y la gestión del cambio.

Además, es importante mencionar que se recomienda la evaluación de la infraestructura actual, antes de lograr una implementación de sistemas tecnológicos como la automatización, el IoT o la Inteligencia Artificial es importante ver la infraestructura existente. Analizar la conectividad de las redes, capacidad para el uso del *Big Data*, el manejo de la ciberseguridad y lograr identificar los puntos relevantes y fuertes, para la mejora en la toma de decisiones sobre una adecuada implementación de nuevas tecnologías al sistema portuario del presente. No obstante, se recomienda fomentar la participación de colaboradores entre los diferentes actores del ecosistema portuario, dentro de ello autoridades portuarias, proveedores de tecnología, empresas navieras y operadores logísticos, entre otros más. Esto es esencial para el éxito de la implementación de las tecnologías en los puertos actuales y establecer alianzas estratégicas con el objetivo de mejorar las prácticas que ayudarán a acelerar la adopción de tecnologías, impulsar la innovación y resolver desafíos en la industria marítima.

Finalmente se determinó que, si bien las tecnologías de la 4ta revolución industrial investigadas ofrecen ventajas significativas para los puertos marítimos, es importante mencionar que también existen ciertos inconvenientes que podrían generarse en el transcurso del cambio de un puerto marítimo a un *smart port*. Esto ocasionarían más problemas que soluciones al puerto, si no se evalúan cuidadosamente todos los factores antes de llevar a cabo la implementación.



Por otro lado, los gobiernos y las empresas deben tener un rol fundamental para ayudar al financiamiento de estas tecnologías para el beneficio del comercio internacional, ya sea mediante programas de financiamiento y crédito, además de una intervención del estado para que supervise los proyectos logísticos. Junto a ello las empresas de capital privado deben contar con un personal altamente calificado y expertos en las áreas de los temas antes mencionados: automatización, IOT y la IA, con el fin de impulsar dicha iniciativa hacia una implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en las operaciones de los *smart ports*.

Basado en los resultados obtenidos y las limitaciones presentadas en el caso, se recomienda poder enfocar las futuras investigaciones en otras zonas geográficas para poder comparar los resultados obtenidos con esta y ver si las ventajas y desventajas que se llegaron a encontrar tienen un cambio drástico o no, así como enfocar los estudios en países con menores recursos y poder determinar qué tan costoso o rentable sería realizar un *smart port* en un país de esa categoría.

Es importante mencionar las limitaciones que se obtuvieron en la investigación, las cuales podrían ocasionar cambios en los resultados obtenidos. En primer lugar, las muestras utilizadas para la investigación fueron muy escasas con respecto a los *smart ports* en Asia Pacífico. Si bien se encontraron muchos artículos de investigación con dicha información, el conocimiento de las tendencias de estos era muy limitado. Esto complica la búsqueda de mayores comparaciones entre los *smart ports* en dicho sector y la búsqueda de mayores tendencias relacionadas con las tecnologías seleccionadas.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por su apoyo en la elaboración de la investigación.

#### REFERENCIAS

[1] A. P. T. Pacchini, W. C. Lucato, F. Facchini, y G. Mummolo, “The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0”, *Comput Ind*, vol. 113, p. 103125, dic. 2019, doi: 10.1016/j.compind.2019.103125.

[2] V. Stanić, M. Hadjina, N. Fafandjel, y T. Matulja, “TOWARD SHIPBUILDING 4.0 - AN INDUSTRY 4.0 CHANGING THE FACE OF THE SHIPBUILDING INDUSTRY”, *Brodogradnja*, vol. 69, núm. 3, pp. 111–128, sep. 2018, doi: 10.21278/brod69307.

[3] I. de la Peña Zarzuelo, M. J. Freire Soeane, y B. López Bermúdez, “Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review”, *J Ind Inf*

*Integr*, vol. 20, p. 100173, dic. 2020, doi: 10.1016/j.jii.2020.100173.

[4] A. Gaddam, T. Wilkin, M. Angelova, y J. Gaddam, “Detecting Sensor Faults, Anomalies and Outliers in the Internet of Things: A Survey on the Challenges and Solutions”, *Electronics (Basel)*, vol. 9, núm. 3, p. 511, mar. 2020, doi: 10.3390/electronics9030511.

[5] M. Heikkilä, J. Saarni, y A. Saurama, “Innovation in Smart Ports: Future Directions of Digitalization in Container Ports”, *J Mar Sci Eng*, vol. 10, núm. 12, p. 1925, dic. 2022, doi: 10.3390/jmse10121925.

[6] N. H. Mohd Salleh, M. Selvaduray, J. Jeevan, A. H. Ngah, y S. Zailani, “Adaptation of Industrial Revolution 4.0 in a Seaport System”, *Sustainability*, vol. 13, núm. 19, p. 10667, sep. 2021, doi: 10.3390/su131910667.

[7] B. T. H. Yen, M.-J. Huang, H.-J. Lai, H.-H. Cho, y Y.-L. Huang, “How smart port design influences port efficiency – A DEA-Tobit approach”, *Research in Transportation Business & Management*, vol. 46, p. 100862, ene. 2023, doi: 10.1016/j.rtbm.2022.100862.

[8] T. Campisi *et al.*, “Locally integrated partnership as a tool to implement a Smart Port Management Strategy: The case of the port of Ravenna (Italy)”, *Ocean Coast Manag*, vol. 224, p. 106179, jun. 2022, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106179.

[9] A. Rodrigo González, N. González-Cancelas, B. Molina Serrano, y A. Orive, “Preparation of a Smart Port Indicator and Calculation of a Ranking for the Spanish Port System”, *Logistics*, vol. 4, núm. 2, p. 9, may 2020, doi: 10.3390/logistics4020009.

[10] K. X. Li, M. Li, Y. Zhu, K. F. Yuen, H. Tong, y H. Zhou, “Smart port: A bibliometric review and future research directions”, *Transp Res E Logist Transp Rev*, vol. 174, p. 103098, jun. 2023, doi: 10.1016/j.tre.2023.103098.

[11] J. Rendon Schneir *et al.*, “A business case for 5G services in an industrial sea port area”, *Telecomm Policy*, vol. 46, núm. 3, p. 102264, abr. 2022, doi: 10.1016/j.telpol.2021.102264.

[12] H.-T. Liao, T.-M. Lo, y C.-L. Pan, “Knowledge Mapping Analysis of Intelligent Ports: Research Facing Global Value Chain Challenges”, *Systems*, vol. 11, núm. 2, p. 88, feb. 2023, doi: 10.3390/systems11020088.

[13] G. Knatz, T. Notteboom, y A. A. Pallis, “Container terminal automation: revealing distinctive terminal characteristics and operating parameters”, *Maritime Economics & Logistics*, vol. 24, núm. 3, pp. 537–565, sep. 2022, doi: 10.1057/s41278-022-00240-y.

[14] M. M. Abaei, R. Hekkenberg, A. BahooToroodi, O. V. Banda, y P. van Gelder, “A probabilistic model to evaluate the resilience of unattended machinery

- plants in autonomous ships”, *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 219, p. 108176, mar. 2022, doi: 10.1016/j.ress.2021.108176.
- [15] R. Philipp, G. Prause, E. O. Olaniyi, y F. Lemke, “Towards Green and Smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations”, *Environmental and Climate Technologies*, vol. 25, núm. 1, pp. 650–665, ene. 2021, doi: 10.2478/rtuct-2021-0049.
- [16] C. Zhou, S. Zhu, M. G. H. Bell, L. H. Lee, y E. P. Chew, “Emerging technology and management research in the container terminals: Trends and the COVID-19 pandemic impacts”, *Ocean Coast Manag*, vol. 230, p. 106318, nov. 2022, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106318.
- [17] H. Min, “Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0”, *Maritime Economics & Logistics*, vol. 24, núm. 2, pp. 189–207, jun. 2022, doi: 10.1057/s41278-022-00211-3.
- [18] B. Bešković y P. Bajec, “STRATEGIES AND APPROACH FOR SMART CITY-PORT ECOSYSTEMS DEVELOPMENT SUPPORTED BY THE INTERNET OF THINGS”, *Transport*, vol. 36, núm. 5, pp. 433–443, dic. 2021, doi: 10.3846/transport.2021.16194.
- [19] G. Ortiz *et al.*, “A microservice architecture for real-time IoT data processing: A reusable Web of things approach for smart ports”, *Comput Stand Interfaces*, vol. 81, p. 103604, abr. 2022, doi: 10.1016/j.csi.2021.103604.
- [20] K.-L. A. Yau, S. Peng, J. Qadir, Y.-C. Low, y M. H. Ling, “Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing Port Activities Using Information and Communications Technology”, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 83387–83404, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2990961.
- [21] H. A. Al-Fatlawi y H. Jassim Motlak, “Smart ports: towards a high performance, increased productivity, and a better environment”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 13, núm. 2, p. 1472, abr. 2023, doi: 10.11591/ijece.v13i2.pp1472-1482.
- [22] A. Alop, “The Main Challenges and Barriers to the Successful ‘Smart Shipping’”, *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 13, núm. 3, pp. 521–528, 2019, doi: 10.12716/1001.13.03.05.
- [23] Y. Bo y M. Junqing, “Research on the Construction of Knowledge Service Model of Port Supply Chain Enterprise in Big Data Environment”, *J Phys Conf Ser*, vol. 1550, núm. 3, p. 032170, may 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1550/3/032170.
- [24] S.-Y. Kuo, X.-R. Huang, y L.-B. Chen, “Smart ports: Sustainable smart business port operation schemes based on the Artificial Intelligence of Things and blockchain technologies”, *IEEE Potentials*, vol. 41, núm. 6, pp. 32–37, nov. 2022, doi: 10.1109/MPOT.2022.3198808.
- [25] S.-C. Lin, H.-K. Chang, y Y.-F. Chung, “Exploring the Impact of Different Port Governances on Smart Port Development Strategy in Taiwan and Spain”, *Sustainability*, vol. 14, núm. 15, p. 9158, jul. 2022, doi: 10.3390/su14159158.
- [26] Y. Zhang, C. Yang, K. Tang, y J. Dai, “Study on Distributed Consistent Cooperative Control of Multi-ART in Automated Container Terminals”, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 122965–122980, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3223360.
- [27] B. Belmoukari, J.-F. Audy, y P. Forget, “Smart port: a systematic literature review”, *European Transport Research Review*, vol. 15, núm. 1, p. 4, mar. 2023, doi: 10.1186/s12544-023-00581-6.