





Current research trends on smart ports in the last decade: A theoretical application for supply chain management

Claudia Elena Aguilar Sumari, Bachiller¹, Luis Angel Alatrística Baldarrago, Bachiller², Carla Alexandra Donayre Casas, Bachiller³, María Lucía López Palomino, Bachiller⁴, Mariana Liset Poma Guerrero, Bachiller⁵ and Julio Ricardo Moscoso Cuaresma, Ph. D Student⁶

^{1,6} Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U20181A362@upc.edu.pe, U20181B339@upc.edu.pe, u201812201@upc.edu.pe, U201814629@upc.edu.pe, U20181C655@upc.edu.pe, julio.moscoso@upc.pe

Abstract– The research identifies and analyzes the main academic trends developed on the use of smart ports in the last decade. The PRISMA bibliographic review methodology is used for literature on publications indexed in Scopus and others anchored in SJR. Sustainability, information technologies, and infrastructure were taken as variables for the use of smart ports for supply chain management. As a main result, it was identified that the three variables add value, competitiveness, and efficiency in managing the microgrid system for the reinvention of the maritime supply chain, transforming it into a solid connection in the fourth industrial revolution. Future research should analyze the development of smart ports, exploring the digitization of supply chains and the implementation of public policies to improve regional port infrastructure.

Keywords-- Competitiveness, VUCA, smart ports, supply chain management, international logistics, sustainability, information technology, infrastructure.

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

Actuales tendencias de investigación sobre puertos inteligentes en la última década: Una aplicación teórica para el supply chain management

Claudia Elena Aguilar Sumari, Bachiller¹, Luis Angel Alatrística Baldarrago, Bachiller², Carla Alexandra Donayre Casas, Bachiller³, María Lucía López Palomino, Bachiller⁴, Mariana Liset Poma Guerrero, Bachiller⁵ and Julio Ricardo Moscoso Cuaresma, Ph. D Student⁶

^{1,6} Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U20181A362@upc.edu.pe, U20181B339@upc.edu.pe, u201812201@upc.edu.pe, U201814629@upc.edu.pe, U20181C655@upc.edu.pe, julio.moscoso@upc.pe

Resumen– *La investigación identifica y analiza las principales tendencias académicas desarrolladas sobre el uso de los smart ports en la última década. Se utiliza como metodología la revisión bibliográfica PRISMA de literatura sobre publicaciones indexadas en Scopus y otras ancladas al SJR. Se tuvo como variables a la sostenibilidad, las tecnologías de información y la infraestructura sobre el uso de los smart ports para la gestión de la cadena de suministro. Como resultado principal, se identificó que las tres variables aportan valor agregado, competitividad, y eficiencia en la gestión del sistema de microrredes para la reinención de la cadena de suministro marítima transformándola en una conexión sólida en la cuarta revolución industrial. Futuras investigaciones deberán analizar el desarrollo de smart ports, explorando la digitalización de las cadenas de suministro y la implementación de políticas públicas para mejorar la infraestructura portuaria regional.*

Palabras clave– *Competitividad, VUCA, puertos inteligentes, supply chain management, logística internacional, sostenibilidad, tecnologías de información, infraestructura.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una marcada tendencia del desarrollo de investigaciones sobre la gestión y uso de los sistemas portuarios inteligentes y de su relación con aquellas variables relacionadas a la demanda portuaria, máxime cuando el 80% del comercio mundial se realiza por vía marítima [1]. En adición, la Cuarta Revolución Industrial y sus agigantados avances en innovaciones tecnológicas han representado una oportunidad de crecimiento y progreso en diversos sectores siendo uno de ellos el sector portuario [2]; incluyendo, por supuesto a la innovación, el desarrollo tecnológico, la mejora de la infraestructura del transporte global, así como la búsqueda de la eficiencia, competitividad y sostenibilidad.

Por otro lado, la literatura establece también que los costos de construcción y mantenimiento de los *smart ports* son superiores a la gestión tradicional; sin embargo, ello tiene una relación directamente proporcional en términos de eficiencia operativa y económica con la aplicación de las nuevas tecnologías [3]. Se resalta, también, el desarrollo de investigaciones asociadas a la gestión de la sostenibilidad de los procesos de suministro y la importancia del manejo de puertos verdes y sostenibles [4].

Asimismo, la literatura enfatiza que las tendencias de innovación tecnológica verde están directamente relacionadas con la creación de las ciudades inteligentes y la búsqueda de la competitividad y manejo adecuado de los recursos fósiles [4]. Como ejemplo más avanzado se tienen a los puertos asiáticos, que han anclado el término de “Puertos de Quinta Generación”. Esta tendencia está ligada íntimamente a la protección ambiental y el uso de la alta tecnología, y ha surgido a causa de la contaminación portuaria, pues es esta industria la que puede producir un gran impacto contaminante en el medio ambiente. Asimismo, la literatura señala que los países desarrollados cuentan con una meta global de reducir el 50% de las emisiones de dióxido de carbono en la industria de la logística portuaria para el año 2050. No obstante, también puede traducirse un aumento de competitividad en términos de protección y desarrollo portuario [5].

Por tanto, en aplicación del desarrollo científico de los últimos años sobre los *smart ports*, es necesario analizar y comprender los diversos enfoques e interpretaciones sobre este concepto a nivel global. En base a lo mencionado, esta investigación cualitativa emplea una revisión sistemática que tiene como propósito definir y explicar las principales tendencias de investigación sobre los puertos inteligentes en la última década. Se establecieron para ello tres objetivos: (i) caracterizar la sostenibilidad de los puertos inteligentes respecto a las últimas investigaciones generadas durante la década del 2010, (ii) determinar la influencia de la tecnología de información en el desarrollo de los *smart ports*; y, (iii) explicar la gestión y desarrollo de la infraestructura de la cadena de suministro inteligente de los *smart ports*.

II. MARCO TEÓRICO

La literatura científica plantea diferentes puntos de vista y perspectivas sobre el concepto teórico de los *smart ports*. A continuación, se precisan aquellas definiciones teóricas necesarias para comprensión del objeto de estudio.

A. *Acerca del Smart Port*

En primer lugar, es imperativo explicar qué es un *smart port*, puesto que este concepto ha variado sustancialmente en los últimos años. Se puede considerar, entonces, como *smart port* a un puerto automatizado, en el cual todos sus dispositivos se encuentren conectados a través del internet de las cosas (en adelante IoT) [3]. Con la conexión a IoT de los sensores, actuadores inteligentes, dispositivos inalámbricos y centros de datos, se puede lograr formar una infraestructura de datos en la nube, con ello los puertos marítimos inteligentes pueden actuar de manera rápida y eficiente a las demandas del comercio mundial. En la misma línea, la literatura considera que un principal factor que permite identificar a un puerto como “inteligente” consiste en encontrar sensores de imágenes, lectores y etiquetas RFID que permitan recopilar raudamente los datos importantes para las bases de datos.

Del mismo modo, se precisa entender el por qué un puerto toma la iniciativa para implementar las funcionalidades *Smart*. En primer lugar, un *smart port* tiene como objetivo mejorar la competitividad y el fomento de una cultura donde exista una colaboración de los actores portuarios de forma horizontal y vertical a la cadena de suministro [6]. Se comprende, entonces, que un *smart port* necesita de la sinergia entre sus actores para llevar a cabo iniciativas para promover un mismo objetivo, visión, misión, cultura organizacional, productividad y ganas de ser más eficientes [3].

Un *smart port* presenta, además, una transformación digital para llegar a desarrollar una arquitectura basada en la recopilación de datos, la cual permite a los usuarios internos y externos a explorar de manera rápida y eficiente los datos geolocalizados (*big data*) y que estos se puedan gestionar en infraestructuras complejas [7].

TABLA I

COMPONENTES DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DIGITAL DE SUPPLY CHAIN

Componentes	Concepto
Sistema integrado de cooperación en la cadena logística	El sistema gestiona la integración y comparte la información logística de toda la cadena de transporte.
Sistema de pedidos electrónicos “One order”	El sistema integrará todos los documentos originales, tales como documentos de transporte, documentos de operación portuaria y conocimientos de embarque marítimo.

Nota. Adaptado de Cheng y otros autores [27].

De esta manera, uno de los más grandes beneficios de un *smart port* es la capacidad de ser un puerto flexible, ágil y sustentable y que no contenga residuos; maximizando la rentabilidad, la innovación tecnológica y resolviendo sus principales problemas a través de la inteligencia artificial, la reducción en el consumo energético y de las emisiones contaminantes [2]. Ser un *smart port*, entonces, otorga una gran ventaja diferencial atractiva en las operaciones empresariales y gubernamentales a fin de alcanzar una mayor facturación y competitividad en el comercio internacional de mercancías.

Es importante resaltar también los sistemas de aplicación donde un *smart port* puede ejercer sus funcionalidades. Entre ellos se encuentra un sistema de control de inteligencia, el sistema de aplicación digital de *supply chain*, y un sistema de aplicación de servicios de información. En cuanto, a una perspectiva del *supply chain*, se tiene presente un sistema integrado de cooperación en la cadena logística, así como un sistema de pedidos electrónicos llamado “*One order*” [4].

B. *Acerca de la Sostenibilidad*

El concepto de sostenibilidad muestra un índice de preocupación por tener un ecosistema de productividad e infraestructura tecnológica que siga una ruta ecológica, ensalzada a la eficiencia energética y medioambiental. Además, este concepto debe de responder a las exigencias de los colaboradores en las terminales portuarias; así como también, priorizar el bienestar de la sociedad que lo rodea, involucrando a todos sus *stakeholders* en una transición a la logística sostenible e inteligente [8]. Por otro lado, un puerto sostenible brinda mejores oportunidades de desarrollo a las ciudades aledañas, pues disminuye su impacto ambiental y aumenta el beneficio económico [9].

La sostenibilidad se relaciona, también, con la integración de operación y objetivos verdes, pues busca reducir el índice de impacto que puede representar las operaciones portuarias. Toda decisión, entonces, debe estar acompañada de la aplicación tecnológica que permita una óptima producción en los puertos. Asimismo, un adecuado control de los recursos resultará en un mejor índice de sostenibilidad, convirtiendo al puerto en un todo orgánico, pues se tendrán todos los aspectos complementados para la funcionalidad [4]. Por otro lado, si un puerto busca considerarse sostenible, debe de cumplir con reducir todo tipo de contaminación y emplear un método de reciclaje de desechos [10].

TABLA 2

LOS 3 PILARES DE LA SOSTENIBILIDAD

Pilar	Objetivos
Social	Equidad de trato y responsabilidad. Incentivo en la inclusión social. Participación activa ante la comunidad. Condiciones laborales que respeten los derechos humanos.
Económico	Alta productividad. Eficiencia de procesos. Generación de ingresos limpios. Aumento de competitividad comercial Desarrollo del Puerto (infraestructura)
Medio Ambiental	Evitar la contaminación marina, suelo y aire. Respetar la biodiversidad. Reducción de emisiones de carbono. Agotamiento adecuado de recursos. Uso adecuado del suelo.

Nota. Adaptado de Othman et al., 2022.

El término sostenibilidad viene tomando mayor impulso en los últimos años, gracias a la conciencia pública hacia la demanda de poseer espacios con comportamiento proactivo ambiental. Por lo tanto, se necesitan nuevos enfoques para los puertos en los que se busque la reducción de la emisión energética y con operaciones ecológicas, inclusive aplicaciones de economía circular. En ese sentido, es un concepto que modificaría el modelo de negocio de manera parcial o total, pues se requerirán nuevos procesos portuarios. Además, deberá de ser respaldado por ideas innovadoras en donde se busque la utilización de los recursos de manera eficaz y en donde las operaciones se conviertan en el futuro en una notable ventaja competitiva [11].

Por otra parte, la tecnología de información y comunicación, más conocida (TIC), puede ayudar a reducir la emisión de gases invernadero apoyando así la sostenibilidad [1]. De igual forma, la sostenibilidad mejora el medio ambiente, la calidad de sociedad y aspectos económicos, pues se tienen procesos más eficientes y competitivos al ser un tipo de operación que actualmente la mayoría de los clientes, investigadores, empresas e industrias en general están buscando. El término busca reducir la contaminación del suelo, aire, agua y controlar la manipulación de los desechos y energías. Para la mayoría de la literatura, se debe de coincidir de manera benéfica 3 conceptos para que se torne sostenible en lo social, económico y medioambiental. En el primer concepto (i), se busca la igualdad de oportunidades, salud, buenas condiciones laborales e inclusividad. En el segundo (ii) se esperan eficiencias económicas, generación de valor, mejores competencias y facilitar sinergias. Por último, en el tercer concepto (iii), se busca preservar la vida marítima, el aire, la biodiversidad, disminuir el impacto en el clima e incentivar el agotamiento de los recursos [12].

C. Acerca de los Sistemas de Tecnologías de la Información

Los puertos manejan diversa información relacionada al tráfico marítimo, Sistemas de Identificación Automática (AIS); y demás data logística. Las tecnologías de la información se convierten en una herramienta útil para el manejo de datos, debido a que proporcionan un servicio informático a gran escala sin la necesidad de utilizar papeles; así como también permiten una adecuada administración y monitoreo [1].

Asimismo, las tecnologías de información han logrado tomar muchas aplicaciones, como lo es el Big Data, el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (IA), la Identificación por Radiofrecuencia (RFID), entre otros; y que, estas herramientas ofrezcan soluciones digitales para el manejo y monitoreo de datos en términos de eficiencia, sostenibilidad y seguridad en los puertos [13].

La *big data* hace referencia a un conjunto de datos e información enorme y compleja tanto como a un enfoque que se basa en aprovechar la oportunidad de convertir los datos obtenidos en información valiosa para una mayor comprensión del entorno y una mejor toma de decisiones [7]. La utilización de la *big data* es importante para los procesos logísticos como

para reducir los costos operativos, dado que con esta herramienta se minimiza el tiempo que los barcos pasan anclados fuera del puerto y se maximiza el uso de muelles y sincronización de horarios [14]. Yau et al. identifican que los sistemas de información se desglosan en cuatro componentes (ver la tabla 3).

TABLA 3
COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Componentes	Descripción
Centros de información	Recopilan e integran información de sensores, detectores, cámaras, sistemas de reconocimiento facial entre otros ubicados en muelles o almacenes.
Centros de datos	Herramientas de transporte que procesan e integran datos en tiempo real. Se desarrolla a través de Cloud Computing, un servidor que se aloja remotamente en el internet; y Edge computing.
Redes y Comunicación	A través de redes inalámbricas conecta a los dispositivos de recolección de datos y centros de información con agentes de carga, empresas de transporte, entre otros.
Automatización	Relacionado a la toma de decisiones oportuna en contextos dinámicos e impredecibles, en donde las decisiones tienen como base todos datos e información recopilada.

Nota. Adaptado de Yau et al., 2020.

TABLA 4
TECNOLOGÍAS DIGITALES EN EL CAMPO PORTUARIO

Tecnología	Descripción
Robótica	Referente al campo de la robótica y vehículos autónomos que ocupan el rol de astilleros y sirven de ayuda en el transporte marítimo.
Big data	Es la información que proviene de los sensores de los barcos; y que, posteriormente se convierte en data útil y productiva para el desarrollo de operaciones.
Inteligencia Artificial	Se utiliza en combinación con la tecnología Big data para convertir los datos en información valiosa y darle un mejor uso.

Nota. Adaptado de Sánchez et al., 2022.

Por otro lado, los puertos representan un amplio campo de estudio debido a la interacción que mantienen con el transporte terrestre, así como las oportunidades de implementación que presentan, dado que se pueden desarrollar proyectos relacionados a la robótica, la *big data* y la inteligencia artificial [15].

D. Acerca de la Infraestructura

Se trata de una dimensión espacial fija que se encuentra instalada en una zona determinada. Mientras que, la expresión aplicada a lo portuario se refiere a un HUB o a un sistema territorial de agregación productiva altamente compleja [16]. Esta está asociada a la sede física del puerto y representa un impulsor de economías y de valor agregado [17]. Asimismo, también se explica como la composición de elementos

náuticos, tráfico de rodado y elementos digitales influyen en la eficiencia de la gestión de la infraestructura [18].

El término infraestructura, además, es conocido como una fase de la evolución de los puertos, en la que se dio a cabo un desarrollo e implementación de equipos e infraestructura elemental para poder disminuir el uso de la mano de obra. Mientras que, también se emplea como una característica importante para poder clasificar un puerto como inteligente. En el caso de la infraestructura moderna aplicada en puerto, significa que un puerto cuenta con microrredes, tanto portuarias como inteligentes, así como, estaciones de carga.

Por otro lado, hoy en día, se ha vuelto conocida la frase “electrificación de infraestructura portuaria”. En este caso, esta expresión hace referencia al aumento de la automatización de un puerto. La implementación de ello permite contar con eficiencias energéticas, así como, reducciones del gas de efecto invernadero y de los costos de energía [13]. Con respecto a la terminología “redes de infraestructura críticas”, estas están compuestas por los activos de infraestructura de los que dependen muchas operaciones, como, por ejemplo, transmisores y generadores de electricidad, agua, telecomunicaciones, etc. y por los activos portuarios [19].

Tabla 5
ALCANCE ECONÓMICO Y ESCALA SEGÚN TIPO DE INFRAESTRUCTURA

Tipos de infraestructura	Escala	Alcance económico
Transporte marítimo	Global	Cadenas de suministros globales
Carreteras, ferrocarriles, transporte fluvial	Regional	Industrias económicas regionales
Telecomunicaciones, electricidad, suministros de agua	Local	Empresas individuales

Nota. Adaptada por Verschuur et al., 2022.

Tabla 6
CARACTERÍSTICAS DE UN PUERTO SEGÚN SU ETAPA

Etapa	Características
Informatización	Las gestiones se realizan a través del uso paralelo de documentación a papel y de algunos sistemas de información básicos.
Automático	En este caso, la infraestructura está limitada al empleo de e-documents o documentos electrónicos, sistemas operativos de terminal (TOS), yard planning, emplea grúas de patio y gantry.
Digital	La infraestructura emplea aplicaciones móviles, identificación por radiofrecuencia (RFID), sistemas nacionales colaborativos como ventanilla única y sistemas de colaboración global.
Smart	La infraestructura se compone por transformación digital, empleo de redes 5G ultra rápidas, uso de tecnologías como la inteligencia artificial, big data, robotización, etc.

Nota. Adaptado de Makkawan y Muangpan, 2021

Aunque, el término “Infraestructura” también se utiliza como parte de un indicador básico o como un pilar en rankings internacionales que evalúan el rendimiento de los sistemas logísticos. Por otro lado, si se desea emplear la frase infraestructura inteligente, esta va acorde al uso de *softwares* y *hardwares* en un puerto. De esta manera, poder aumentar la eficiencia con respecto a las operaciones y sostenibilidad portuaria permite optimizar la toma de decisiones [20].

En contraparte, se define a las infraestructuras inteligentes como el empleo de sistemas de telecomunicaciones que cuentan con experiencia en “Generaciones Avanzadas” [21]. Esta expresión cuenta con 5 componentes importantes: (i) análisis de negocios, (ii) plataformas, (iii) internet de las cosas, (iv) servicios de *cloud computing* e (v) implementación de sensores [2].

Por último, para definir correctamente el término es necesario determinar el nivel de madurez o etapa y capacidad de un puerto [22].

III. METODOLOGÍA

La metodología escogida fue la revisión sistemática de modelo PRISMA, llevándose a cabo en dos etapas. En la primera, el objetivo fue indagar artículos de revisiones de literatura previas sobre los *smart ports* con el propósito de ahondar el análisis del objetivo planteado. Con los criterios de búsqueda y selección se descartaron aquellos artículos que no guardaban relación con el objeto de estudio y/o no tenían relevancia. Los repositorios académicos consultados fueron: Scopus, IOP Science, Web of Science, Science Direct y Springer.

Tabla 7
CRITERIO DE BÚSQUEDA PARA LA SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

Base	Keywords	Área	Orden	Tipo
Scopus, IOP Science, Web of Science, Science Direct, Springer Link	Smart port	Business	Grado de vinculación con tema	Artículo
	Sostenibilidad	Management	Fecha de publicación	
	Infraestructura	Engineering	Nº citas	
	Sistemas de tecnología de información	Social Science	Nivel del cuartil	

Nota. Esta tabla muestra los criterios empleados para la exploración y selección de artículos de investigación.

En ese sentido, la elección de las fuentes bibliográficas se desarrolló teniendo en cuenta rigurosos criterios de calidad. Entre los criterios usados, se tuvo a bien elegir a aquellos artículos que se encuentren dentro de los cuartiles 1, 2 y 3 de las principales bases de datos reconocidas a nivel internacional, que a su fecha de publicación se encuentren dentro del rango estudiado. Además, se hizo uso de los siguientes algoritmos de búsqueda con palabras claves, de

forma que la búsqueda sea más sencilla: “sostenibilidad”, “infraestructura”, “tecnología”, “evolución” y otros conceptos que mantienen vínculo temático con los *smart ports* (para mayor detalle ver la tabla 7).

En la segunda etapa se continuó con la revisión bibliográfica de los artículos. El principal elemento de selección fue que las palabras clave mantengan relación con las dimensiones del planteamiento del problema, tanto a nivel teórico, de análisis y resultados, con el objetivo de construir una matriz en Excel que distribuya los artículos seleccionados. Al final se seleccionaron 23 artículos de 41 recopilados.

TABLA 8
DISTRIBUCIÓN DE ARTÍCULOS Y AUTORES SEGÚN CADA DIMENSIÓN DE ANÁLISIS

Autor	Artículo	Dimensión
Cheng et al.	Study on the Constructing and Developing Mode of the Smart Port in the Beibu Gulf of Guangxi.	Smart Ports
Min	Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0.	Smart Ports
Fernández et al.	Smart Port: A Platform for Sensor Data Monitoring in a Seaport Based on FIWARE.	Smart Ports
Douaioui et al.	Smart port: Design and perspectives.	Smart Ports
Yang et al.	Internet of things for smart ports: Technologies and challenges.	Smart Ports
Yau et al.	Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing Port Activities Using Information and Communications Technology	Sistemas de Tecnologías de la Información
Sadiq et al.	Future greener seaport: a review of new infrastructure, challenges, and energy efficiency measures	Sistemas de Tecnologías de la Información
Mirovic et al.	Big Data in the Maritime Industry	Sistemas de Tecnologías de la Información
Fernández et al.	3D-Monitoring Big Geo Data on a seaport infrastructure based on FIWARE	Sistemas de Tecnologías de la Información
Sanchez et al.	Toward digitalization of maritime transport?	Tecnologías de la Información
Gaspere et al.	Smart and sustainable logistics of Port cities: A framework for comprehending enabling factors, domains and goals	Sostenibilidad
Rosmaizura et al.	Dry ports: Redefining the concept of seaport-city integrations	Sostenibilidad
Chen et al.	Constructing Governance Framework of a Green and Smart Port	Sostenibilidad
Wang et al.	Impact of the smart port industry on the Korean national economy using input-output analysis	Sostenibilidad
Philipp et al.	Towards Green and smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations	Sostenibilidad

Yau et al.	Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing Port Activities Using Information and Communications Technology	Sostenibilidad
Othman et al.	A Framework for Adopting a Sustainable Smart Sea Port Index	Sostenibilidad
Marino et al.	The spatial spillover effect of transport infrastructures in the Greek economy (2000–2013): A panel data analysis	Infraestructura
Campisi et al.	Locally integrated partnership as a tool to implement a smart port management strategy: The case of the port of Ravenna (Italy)	Infraestructura
Gurzhiy et al.	Port and City Integration: Transportation Aspect.	Infraestructura
Sadiq et al.	Future greener seaport: a review of new infrastructure, challenges, and energy efficiency measures.	Infraestructura
Verschuur et al.	A systemic risk framework to improve the resilience of port and supply chain networks to natural hazards.	Infraestructura
Alkheder et al.	Maritime transport management in Kuwait toward an automated port logistical city.	Infraestructura
Sadri et al.	Evaluation of the components of intelligence and greenness in Iran ports based on network data envelopment analysis approach.	Infraestructura
Min	Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0.	Infraestructura
Makkawan & Muangpan	A conceptual model of smart port performance and smart port indicators in Thailand.	Infraestructura

Nota. Esta tabla muestra la distribución de los artículos seleccionados por la dimensión buscada.

IV. RESULTADOS

Acerca del año de las publicaciones revisadas en revistas, se denota una tendencia creciente desde el 2018 con mayor pronunciamiento desde el 2020. Cabe resaltar que en el 2020 empieza a tomar popularidad el término “*smart port*”, por ello el aumento de publicaciones. Entonces, es posible asegurar el creciente interés por parte del sector científico en conocer el desarrollo de la nueva tendencia actual de los puertos inteligentes. En cuanto a la influencia científica de las revistas académicas, el 81% de ellas corresponden a los cuartiles Q1 y Q2 del Scimago Journal Rank - SJR. Se interpreta que al tener más de la mitad de las publicaciones en el Q1 y Q2, se puede asegurar la rigurosidad académica de los resultados (ver tabla 09).

La Tabla 10 demuestra el enfoque de investigación de los *papers* recopilados, de los cuales predomina el enfoque cualitativo (67.5%), seguido por el enfoque mixto (22.5%); y el cuantitativo (10%). A su vez, dentro del enfoque cualitativo prevalece el diseño descriptivo (40.74%), el cual se relaciona con los aportes basados de la literatura científica sobre los *smart ports* y su relación con las variables de tecnologías de la información, infraestructura y sostenibilidad. En cuanto al enfoque cuantitativo los estudios experimentales representan

el 50%, mientras que, en el enfoque mixto, los diseños experimentales ocupan el 33.33% de las investigaciones.

TABLA 09
PUBLICACIONES POR AÑO Y CUARTIL 2016 - 2022

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total	%
Q1		1	2	2	3	4	7	19	48%
Q2	1	1	4	1	2	1	3	13	33%
Q3					1	1		2	5%
Q4					1	2		3	8%
No espf.		1				1	1	3	8%
Total	1	3	6	3	7	9	11	40	100%
%	3%	8%	15%	8%	18%	23%	28%		

TABLA 10
PUBLICACIONES POR ENFOQUE Y DISEÑO 2012 - 2022

Enfoque/Diseño	No.	%
Cualitativo	27	67,50%
Análisis de contenido	1	3,70%
Descriptivo	11	40,74%
Estudio de caso	1	3,70%
Investigación exploratoria	2	7,41%
Revisión sistemática	7	25,93%
Otros	5	18,52%
Cuantitativo	4	10,00%
Experimental	2	50,00%
Otros	2	50,00%
Mixto	9	22,50%
Descriptivo	2	22,22%
Experimental	3	33,33%
Metanálisis	2	22,22%
Revisión sistemática	1	11,11%
Otros	1	11,11%
Total	40	100,00%

TABLA 11
PUBLICACIONES POR ENFOQUE Y SUJETO DE ESTUDIO: 2012-2022

Enfoque Método	No.	Sujeto de estudio		
		Puertos	Otros	Sin especificar
Cualitativo	27	16	1	10
Cuantitativo	4	1	3	0
Mixto	9	4	2	3
Total	40	21	6	13
Cualitativo	67,50%	76,19%	17%	76,92%
Cuantitativo	10,00%	5%	50,00%	0%
Mixto	22,50%	19,05%	33,33%	23,08%
Total	100%	53%	15%	33%

De acuerdo con la Tabla 11, en lo que concierne al sujeto de estudio, el 53% de las investigaciones realizadas sobre *smart ports* se basan en el estudio de un determinado puerto, mientras que, el 33% no especifica y el 15% restante, enfoca su investigación en base a algún otro concepto asociado a la variable de estudio. El hecho de que se concentre un mayor porcentaje en las investigaciones en algún puerto del mundo permite comprender las distintas formas en las que se implementa y práctica el concepto en cada puerto.

Como se muestra en la Tabla 12, con respecto al lugar de origen de los autores de las publicaciones analizadas, se tiene que, Asia encabeza el continente con mayor número de autores que realizan investigaciones con un 48,98%, seguido de Europa con un 38,78%, luego, América y África con un 8,16% y 4,08%, respectivamente. Asimismo, tal como se observa en la mencionada tabla, China es el país de nacimiento de la mayor cantidad de autores que realizan publicaciones en materia de *smart ports* y sus dimensiones con un 18,37%, seguido de España e Italia con un 10,20%. Tal como se observa, la cantidad de autores nacidos en América y en África representan una minoría del 12,24%, lo que se traduce que en estos países aún no mantienen un foco amplio del tema de investigación.

TABLA 12
AUTORES POR CONTINENTE Y PAÍS DE ORIGEN

Continente	País de origen de autor	N°	%
África	Egipto	1	2,04%
	Marruecos	1	2,04%
Total África		2	4,08%
América	Chile	1	2,04%
	Estados Unidos	2	4,08%
	México	1	2,04%
Total América		4	8,16%
Asia	China	9	18,37%
	Corea del Sur	1	2,04%
	Emiratos Árabes Unidos	1	2,04%
	Otros	13	26,53%
Total Asia		24	48,98%
Europa	Alemania	3	6,12%
	España	5	10,20%
	Italia	5	10,20%
	Otros	6	12,24%
Total Europa		19	38,78%
Suma total		49	100,00%

Nota. Esta tabla muestra la distribución geográfica de los autores de las investigaciones.

En cuanto al tamaño de muestra de los artículos de investigación escogidos, se resalta que la mayoría de ellos no especifica o no posee un número de muestra. Coincidiendo en que la mayoría de ellos son artículos cualitativos, con diseños de investigación que no requieren del factor muestral. Solo el 15% de los artículos de investigación indica su tamaño de

muestra, de los cuales solo 3 son investigaciones de enfoque cuantitativo.

Respecto al aporte en Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) la mayor parte de las investigaciones se centra en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9, que hace referencia a “Industria, Innovación e Infraestructura”. Además, hay ODS de “Energía Asequible y no Contaminante”, “Trabajo Decente y Crecimiento Económico”, “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, “Producción y Consumo Responsable”, “Acción por el Clima” y “Vida Submarina”. Las investigaciones cualitativas en su mayoría son las que tienen mayores objetivos de desarrollo sostenible, 20 de ODS 9, 4 investigaciones de ODS 11 y 2 investigaciones de ODS 12, un total de 26 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por otro lado, existen 4 investigaciones en donde no se expresa un Objetivo de Desarrollo Sostenible.

TABLE 13
PUBLICACIONES POR TAMAÑO DE LA MUESTRA

Enfoque	Menor a 20	Entre 21 a 200	Más de 201	Sin especificar	Total
Cualitativo	1	1	-	25	27
Cuantitativo	3	-	-	1	4
Mixto	-	-	1	8	9
Total	4	1	1	34	40

Nota. Esta tabla muestra los artículos elegidos por tamaño de muestra utilizada.

TABLE 14
PUBLICACIONES POR ODS

Enfoque	ODS 7	ODS 8	ODS 9	ODS 11	ODS 12	ODS 13	ODS 14	Sin esp.
Cualitativo	-	-	20	4	2	-	-	3
Cuantitativo	-	1	2	-	-	1	1	1
Mixto	3	2	5	-	-	1	-	-

Nota. Esta tabla muestra los artículos por clasificación de Objetivo del Desarrollo Sostenible.

En referencia al número de citas de los artículos científicos recopilados, la gran mayoría de estos ha sido citados entre 1-20 veces (47.5%), 0 veces (22.5%), 21-30 veces (12.5%), 31-40 veces (7.5%), 41 a más (10%). De acuerdo con este criterio, el número de veces que un artículo ha sido citado representa un indicador de impacto positivo y la generación de nuevos conocimientos para la literatura de los *smart ports* y sus variables relacionadas.

El factor de impacto de los artículos de investigación recopilados oscila entre 1-5 veces en su gran mayoría (57.5%), 0 veces (12.5%), 6-10 (5%); y no se especifica (25%). A través de estos indicadores, es factible medir la repercusión de cada artículo en el campo de investigación sobre los *smart ports*, dado que se analiza las veces que fue citado el artículo sobre el total de publicaciones de la revista.

TABLE 15
PUBLICACIONES POR N° DE VECES CITADAS

N° de veces citado	Artículos científicos
0 veces	9
1-20 veces	19
21-30 veces	5
31-40 veces	3
41 a más	4
Total	40

Nota. Esta tabla muestra los artículos por clasificación de número de veces citados.

V. DISCUSIÓN Y TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN

A. Aplicación de la sostenibilidad en los puertos inteligentes

La literatura determina que la sostenibilidad es un factor crítico, pues contribuye al desarrollo de un puerto verde e inteligente. Por ejemplo, crea una iniciativa para la gobernanza del puerto, luego ocasiona la adquisición de herramientas prácticas para el estudio factorial del puerto y finalmente el resultado puede servir para un mejor escenario de toma de decisiones [4]. Además, se indica que gracias a la aplicación de sostenibilidad en puertos inteligentes se logra efectos positivos en el desempeño ambiental y la calidad del servicio portuario [11], considerándose que el desarrollo de puertos sostenibles y tecnológicos es crucial para la creación de puertos tecnológicos e innovadores y para la lucha contra el calentamiento global [4].

Por otro lado, algunas tendencias de sostenibilidad en puertos inteligentes se están centrando en que los puertos necesitan de tecnologías digitales para mejorar sus resultados, pues les permiten monitorear, recolectar y procesar mega datos de una forma más rápida y sin uso de material físico. Existe un consenso unánime sobre la eficiencia que se presenta al aplicar este tipo de tecnologías. Además, las tecnologías permiten involucrar a los puertos y a sus *stakeholders* [8]. Lo mencionado guarda relación con que las tecnologías de información son un factor que aumenta la sostenibilidad, pues se puede controlar y explotar las actividades de los buques y servicios portuarios de forma inmediata [1].

En tal sentido, la literatura coincide en determinar que, para la creación de los puertos inteligentes, se deben priorizar cuatro dominios principales: operaciones, medioambiente, energía, seguridad y protección [24]. Esto permite a las autoridades portuarias medir e investigar el desempeño del puerto y analizar planes estratégicos futuros y políticas para lograr un mayor crecimiento y optimización de recursos a largo plazo [13]. Con el objetivo de mejorar la sostenibilidad de los puertos y examinar los roles de integración y optimización de las tecnologías inteligentes en la sostenibilidad portuaria, se proporciona conocimientos de gestión para los operadores portuarios, miembros de la cadena de suministro y formuladores de políticas [25].

B. *Influencia de la tecnología de información en el desarrollo de un puerto inteligente*

Las tecnologías de la información representan un factor fundamental para el funcionamiento de un *smart port*, pues por medio del aprovechamiento de tecnologías digitales como la Inteligencia Artificial (IA), *big data*, RFID, los puertos logran automatizar y monitorear procesos, mejorar la seguridad marítima, entre otros; logrando contribuir con la eficiencia portuaria [13].

Anteriormente, las operaciones portuarias tradicionales eran caracterizadas por un sistema manual, el cual era deficiente debido a que no se presentaba la automatización; y obtener retroalimentación y colaboración entre actores era complicado [5]. El uso de la tecnología y los puertos son una creciente tendencia considerada como una alternativa más viable frente al modelo portuario convencional, puesto que la inversión tecnológica en los puertos es beneficiosa, dado que reduce el tiempo de respuesta del cliente, permite una mejor asignación y utilización de activos y mano de obra; además fomenta el intercambio de información entre operadores portuarios, transportistas y cargadores [2].

De este modo, son diversas las tecnologías que se han suscitado durante la denominada Industria 4.0; y los puertos tienen la oportunidad de aprovechar estas tecnologías en búsqueda de mejorar sus operaciones y fomentar la competitividad. Por ejemplo, el sistema portuario puede aprovechar tecnologías como el Internet de las cosas, *big data*, computación en la nube, entre otros para generar eficiencias en puertos; es decir, las inversiones en este campo deben ser vistas como una planificación inteligente y a largo plazo, teniendo como objetivo una mejora en la competitividad portuaria y una mayor comunicación entre los miembros de la cadena de suministro [23]. En línea con ello, se denota un interés por las tecnologías *blockchain* en relación con los *smart ports*, debido a que estas pueden generar beneficios en el sistema portuario tradicional, logrando la desintermediación completa, así como una mayor visibilidad del proceso logístico de extremo a extremo [1].

C. *El desarrollo de la infraestructura para que un puerto llegue a ser considerado como un puerto inteligente*

En la actualidad, es de gran importancia diseñar y planificar la creación de puertos inteligentes debido al impacto de la tecnología digital en la infraestructura y el acceso a la información [19]. Esto permite la transición de los puertos manuales a los automáticos para aumentar la productividad y optimización comercial. Según la predominancia de la literatura, los puertos inteligentes se basan en una estructura moderna que se configura en base a un sistema territorial complejo, estando estrechamente relacionado con los contextos físicos en donde se ubican los puertos y el tejido productivo tecnológico de un territorio mayor; y de esta manera, generándose una infraestructura física y tecnológica dúctil que genere soporte a todos los *stakeholders* [26].

Por otro lado, el nivel de infraestructura de un puerto determina el grado de avance y de orientación que tiene para

convertirse en un *smart port*. La infraestructura total de un puerto no está compuesta solo de la estructura física, sino de la microrred portuaria, las microrredes inteligentes, las soluciones en materia de reducción del gas de efecto invernadero, la capacidad del sistema de electrificación para emisión cero, etc. Tal como se indica que contar con una microrred portuaria sólida, en lo que respecta a los sistemas de distribución de baja tensión, permite que un puerto pueda llegar a ser sostenible y eficiente. Por lo que, también, se reduce el costo de conexión, emisiones, mejor calidad energética y aumenta la confiabilidad en un puerto [13]. Asimismo, que los puertos, al establecer mejoras en estos puntos, se encaminan a ser un puerto altamente productivo al reducir, por ejemplo, los retrasos, interrupciones, riesgos y daños en los activos [19].

Ahora bien, las tendencias señalan que se están implementando estudios sobre el uso de la infraestructura en puertos que usen la transformación digital, la implementación de la robótica, el *big data*, la red 5G ultra rápido, etc. [22]. Un puerto *Smart*, entonces, al estar compuesto por el desarrollo de sensores, plataformas, analítica de negocios, internet de las cosas, la nube, etc. aporta autonomía y mejoras en las operaciones portuarias al tener capacidad de respuesta más rápida ante el entorno cambiante, mejorando la trazabilidad, conectividad y operatividad [2].

VI. CONCLUSIONES

Con relación a los resultados en base a los criterios PRISMA elaborados para la sistematización de la producción científica del presente estudio, se puede concluir de manera principal el nivel de interés que en la actualidad posee la variable principal, puesto que se ha encontrado una tendencia creciente en la generación de artículos de investigación desde el 2018. Debido a ello, se puede confirmar la importancia que tienen los *smart ports* para el sector portuario en los últimos 3 años. Asimismo, se denota la rigurosidad académica y la calidad científica de los resultados al contener características de cuartiles Q1 y Q2. Se considera imperativo resaltar que la producción científica del estudio se basó en su mayoría de publicaciones cualitativas. Así como, la mayor parte de los estudios recolectados fueron desarrollados dentro del continente asiático en favor de las operaciones portuarias.

Los resultados de la aplicación de sostenibilidad en los puertos inteligentes mencionan que tienen tendencias de mejoría en el puerto, pues aportan valor agregado y una característica de competitividad notable frente a otros puertos. El concepto de sostenibilidad también puede permitir un mejor manejo de recursos y reducir los precios del servicio al tener una operación más automatizada y fácil de controlar. Sin embargo, es recomendable ampliar la muestra de puertos como objeto de estudio para contrastar los impactos en medida de la realidad de cada uno.

Por otro lado, la influencia de las tecnologías de información y comunicación en la industria de los puertos inteligentes permite su rápido desarrollo y conectividad.

Además, que logra una reinención de la cadena marítima convirtiéndola en una cadena de conexión virtual, lo que puede significar reducción de costos logísticos y administrativos en sus operaciones. Acerca de las tendencias de infraestructura para el desarrollo de los *smart ports*, se concluye que es un factor primordial para la variable, puesto que determina el avance que tiene un puerto para convertirse en inteligente al unir nodos y microrredes para el sistema de distribución portuaria.

Se considera vital para futuras investigaciones relacionadas al tema, la realización de estudios cuantitativos que demuestren a través de *KPI's* el desarrollo de la tecnificación electrónica portuaria, ello con el objetivo de demostrar con resultados objetivos la importancia de los *smart ports* en la actualidad. Es conveniente que las siguientes investigaciones prosigan con la elaboración de indicadores para los resultados del desarrollo de la temática de estudio, puesto que con ello se puede lograr en un futuro comparar la diversificación de la variable en distintos continentes.

Finalmente, es necesario hacer énfasis en la necesidad de contar con estudios en América Latina sobre el desarrollo de los *smart ports*, los cuales podrían iniciar etapas exploratorias sobre el desarrollo electrónico, la ejecución de políticas públicas de desarrollo de infraestructura portuaria y digitalización de las cadenas de suministro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de la presente obra agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por su apoyo en la redacción del presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] K.-L. A. Yau, S. Peng, J. Qadir, Y.-C. Low and M. H. Ling, "Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing," *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, pp. 83387-83404, 2020.
- [2] H. Min, "Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0," *Marit Econ Logist*, pp. 189-207, 2022.
- [3] Y. Yang, M. Zhong, H. Yao, F. Yu, X. Fu and O. Postolache, "Internet of things for smart ports: Technologies and challenges," *IEEE*, pp. 34-43, 2018.
- [4] J. Chen, T. Huang, X. Xie, P. Tae-Woo Lee and C. Hua, "Constructing Governance Framework of a Green and Smart Port," *Journal of Marine Science and Engineering*, p. 83, 2019.
- [5] W. K. Jun, M.-K. Lee and J. Y. Choi, "Impact of the smart port industry on the Korean national economy using input-output analysis," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, p. 3, 2018.
- [6] K. Douaioui, M. Fri, C. Mabrouki and E. Semma, "Smart port: Design and perspectives," *IEEE Access*, 2018.
- [7] P. Fernandez, J. P. Suarez, A. Trujillo, C. Dominguez and J. M. Santana, "3D-Monitoring Big Geo Data on a seaport infrastructure based on FIWARE," *Journal of Geographical Systems*, p. 139-157, 2018.
- [8] D. Gaspere, S.-D. Katarzyna, D. Izabela and I. Giuseppe, "Smart and sustainable logistics of Port cities: A framework for comprehending enabling factors, domains and goals," *Sustainable Cities and Society*, pp. 2210-6707, 2021.
- [9] M. Z. Rosmaizura, M. S. Nurul Haqimin, M. Z. Izyan Munirah, S. M. Masha Nur and J. Jagan, "Dry ports: Redefining the concept of seaport-city integrations," *Transportation Engineering*, 2022.
- [10] K. J. Wang, L. Min-Kyu and Y. C. Jae, "Impact of the smart port industry on the Korean national economy using input-output analysis," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, pp. 480-493, 2018.
- [11] R. Philipp, G. Prause, E. O. Olaniyi and F. Lemke, "Towards Green and Smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations," *Environmental and Climate Technologies*, pp. 650-665, 2021.
- [12] A. Othman, S. El-gazzar and M. Knez, "A Framework for Adopting a Sustainable Smart Sea Port Index," *MDPI Sustainability*, p. 4551, 2022.
- [13] M. Sadiq, S. W. Ali, Y. Terriche, M. U. Mutarraf, M. A. Hassan, K. Hamid, Z. Ali, J. Yin Sze, C.-L. Su and J. M. GUERRERO, "Future Greener Seaports: A Review of New Infrastructure, Challenges, and Energy Efficiency Measures," *IEEE POWER & ENERGY SOCIETY SECTION*, pp. 75568 - 75587, 2021.
- [14] M. Mirović, M. Miličević and I. Obradović, "Big Data in the Maritime Industry," *Nase More*, pp. 1-3, 2017.
- [15] P. L. Sanchez, D. Diaz, T. Leo y L. Nuñez, «Toward Digitalization of Maritime Transport,» *Sensors*, 2019.
- [16] T. Marinos, A. Belegri-Roboli, P. Michaelides and K. Konstantakis, "The spatial spillover effect of transport infrastructures in the Greek economy (2000-2013): A panel data analysis," *Research in Transportation Economics*, 2022.
- [17] T. Campisi, S. Marinello, G. Costantini, L. Laghi, S. Mascia, F. Matteucci and D. Serrau, "Locally integrated partnership as a tool to implement a Smart Port Management Strategy: The case of the port of Ravenna (Italy)," *Ocean & Coastal Management*, 2022.
- [18] A. Gurzhiy, S. Kalyazina, S. Maydanova and R. Marchenko, "Port and City Integration: Transportation Aspect," *Transportation Research Procedia*, pp. 890-899, 2021.
- [19] J. Verschuur, R. Pant, E. Koks and J. Hall, "A systemic risk framework to improve the resilience of port and supply-chain networks to natural hazards," *Maritime Economic & Logistics*, pp. 489-506, 2022.
- [20] S. AlKheder, D. Naif, S. A. Shrekah, M. A. Rshaid, N. A. Anzi and I. Baqer, "Maritime transport management in Kuwait toward an automated port logistical city," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 2022.
- [21] E. Sadri, F. Harsej, M. Hajiaghaei-Keshтели and J. Siyahbalaii, "Evaluation of the components of intelligence and greenness in Irain ports based on network data envelopment analysis approach,," *Journal of Modelling in Management*, pp. 1008-1027, 2022.
- [22] K. Makkawan and T. Muangpan, "A Conceptual Model of Smart Port Performance and Smart Port Indicators in Thailand," *Journal of International Logistics and Trade*, pp. 133-146, 2021.
- [23] D. Zhao, T. Wang y H. Han, «Approach towards Sustainable and Smart Coal Port Development: The Case of Huanghua Port in China,» *MPDI*, 2020.
- [24] A. Molavi, G.J. Lim y B. Race, «A framework for building a smart port and smart port index». *International Journal of Sustainable Transportation*, 2020, 14(9), 686-700.
- [25] A. M. Martín-Soberón, A. Monfort, R. Sapiña, N. Monterde y D. Caldach. Automation in Port Container Terminals. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2014, 160, 195-204.
- [26] M. Ozturk, J. Mona y M. A. Imran, "Energy-Aware Smart Connectivity for IoT Networks: Enabling Smart Ports", *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018.
- [27] Z. Cheng, H. Wu y P. Ni, "Study on the Constructing and Developing Mode of the Smart Port in the Beibu Gulf of Guangxi", *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.