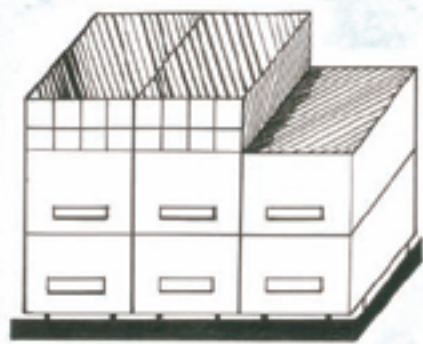




C
A
L
L
A
O



인
천
과
여
기



Geopolítica-Sociedad

El Megapuerto

Apreciaciones geopolíticas,
tecnológicas y económicas sobre el
megapuerto de Chancay - Perú

Editor. Óscar Rafael Tinoco Gómez

Jesús Enrique Tinoco Gómez

Hongsung Yoo

Seungwook Park

Jaime Roberto Llosa Larrabure

Elías Germán Acero Navarro

Óscar Rafael Tinoco Gómez

El Megapuerto

Apreciaciones geopolíticas,
tecnológicas y económicas sobre el
megapuerto de Chancay - Perú.

***Editor.* Óscar Rafael Tinoco Gómez**

El Megapuerto

Apreciaciones geopolíticas,
tecnológicas y económicas sobre el
megapuerto de Chancay - Perú.

Autores:

© Jesús Enrique Tinoco Gómez

© Hongsung Yoo

© Seungwook Park

© Jaime Roberto Llosa Larrabure

© Elías Germán Acero Navarro

© Óscar Rafael Tinoco Gómez

Editado por :

© Óscar Rafael Tinoco Gómez

Calle El Abutillon 3881, Urb. Las Palmeras - Los Olivos

otinocog@unmsm.edu.pe

Diagramación de texto, maquetación y diseño:

Carlos Alberto Vega Vidal

Arte y carátula

Mariella Soledad Villavicencio Quiñones

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2026-07101

Primera edición digital, Junio 2026

ISBN: 978-612-03-2666-4

Libro electrónico disponible en: [http:// librosctscafe.ctscafe.pe/](http://librosctscafe.ctscafe.pe/)

Índice

Introducción5

Capítulo 1

El Megapuerto de Chancay y Groenlandia7

Jesús Enrique Tinoco Gómez

Capítulo 2

Revisión bibliográfica sobre el análisis de series temporales del desempeño portuario de contenedores basado en aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Un estudio comparativo de los puertos del Callao e Incheon33

Hongsung Yoo

Seungwook Park

Capítulo 3

Una alternativa a prospectar: Exportar soya del Brasil a la China mediante su transporte empleando dirigibles.....54

Jaime Roberto Llosa Larrabure

Capítulo 4

Zonas económicas especiales privadas como motor de competitividad y desarrollo sostenible en el comercio exterior peruano59

Elías Germán Acero Navarro

Acerca de los autores78

El arte, el diseño y la tipografía de este libro se han realizado sin el uso de Inteligencia Artificial (IA)

Introducción

El Terminal Portuario Multipropósito de Chancay o, simplemente, el megapuerto de Chancay se hizo realidad, habiendo sido inaugurada su primera etapa en noviembre de 2024 con la presencia del presidente de la República Popular China, Xi Jinping, coincidiendo con la reunión de la APEC.

En junio de ese mismo año fue lanzado el libro EL MEGAPUERTO - Algunas consideraciones sobre el megapuerto de Chancay; la publicación cumplía el papel de reflexión sobre un proyecto con alto potencial para cumplir el objetivo de palanca impulsora al desarrollo nacional y al mismo tiempo que atendía a la demanda de la declaración de Ichma, que considera una “nueva línea de trabajo dentro del plan de trabajo de la agenda FTAAP (Área de Libre Comercio de Asia y el Pacífico por sus siglas en inglés)”, donde se proponen las orientaciones de trabajos y estudios sobre temas relevantes como los procedimientos aduaneros, la inversión, el comercio digital, la política de competencia, las empresas de propiedad estatal, el comercio y el trabajo, el comercio y el medio ambiente, la propiedad intelectual y las mipymes. El grupo de intelectuales y profesionales nacionales de diferentes disciplinas que publicaron el libro arriba mencionado, presentaron una nueva contribución, El MEGAPUERTO - Nuevas consideraciones sobre el megapuerto de Chancay, a partir de los avances ya ocurridos, inclusive la conclusión del periodo de pruebas o "marcha blanca", mientras en el espectro global se producían, también, cambios importantes, entre los cuales la 17ª. Versión de la Cumbre de los BRICS, en Río de Janeiro, Brasil, donde fue firmado un protocolo entre Brasil y China para iniciar los estudios de un proyecto de tren bioceánico, inicialmente propuesto entre el puerto de Ilheus en el Brasil y el de Chancay en el Perú, generando una ola de opiniones contradictorias hacia la opinión pública peruana o; en el ámbito interno, el inicio del proceso de sucesión presidencial y otros eventos que configuraron una coyuntura diferente a la de 2024; se consideró importante continuar con la acción iniciada.

Estas contribuciones, plasmadas hasta el momento en dos libros, tienen como eje de preocupación el potencial del megapuerto de Chancay para cumplir el papel de palanca impulsora para el desarrollo nacional; en esa línea la evolución de la sociedad en todos los aspectos, tanto a nivel interno como en la esfera mundial, confirman tendencias, o las modifican, hacen evidentes las potencialidades y limitaciones propias del país, así como las ventajas o amenazas que presenta el universo internacional.

De otro lado se verifica que el propio proyecto asume, a través de un convenio, su propio monitoramiento; es así que el Observatorio de Chancay y la Universidad del Pacífico, en su reporte N° 3 de enero de 2026: El puerto de Chancay en su primer año: Conectado al mar, ¿de espaldas a la ciudad?; coloca en evidencia la necesidad de abordar el caso del puerto de Chancay de manera integral, registra los avances obtenidos e identifica las tareas siguientes en el corto y mediano plazo.

Partiendo de la verificación de acciones institucionales como el del Observatorio de Chancay y la Universidad del Pacífico, así como acciones de diversas universidades, gremios profesionales y otros actores sociales, el grupo de intelectuales y profesionales nacionales de diferentes disciplinas que iniciaron sus contribuciones en noviembre de 2024; en esta oportunidad lo hace nuevamente con cuatro temas que consideran importantes a los ya tratados en las entregas anteriores: el primero referido a la evolución del factor geopolítico derivado de la publicación y puesta en ejecución de la estrategia de seguridad nacional de Estados Unidos, que afecta el sistema mundial de rutas de comunicación, en el artículo: El megapuerto de Chancay y Groenlandia, del ingeniero Jesús Enrique Tinoco Gómez; un análisis del potencial de las zonas económicas especiales, en el artículo: Zonas económicas especiales privadas como motor de competitividad y desarrollo sostenible en el comercio exterior peruano, del profesor Elías Germán Acero Navarro; y una propuesta innovadora para el transporte interoceánico enviada por el ingeniero Jaime Llosa Larrabure; y, un el artículo de los profesores surcoreanos Hongsung Yoo y Seungwook Park Revisión bibliográfica sobre el análisis de series temporales del desempeño portuario de contenedores basado en aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Un estudio comparativo de los puertos del Callao e Incheon.

Esta nueva contribución reafirma el compromiso de hacer efectivo el potencial del megapuerto de Chancay para cumplir el papel de palanca impulsora para el desarrollo nacional; atendiendo a la necesidad de profundizar las informaciones y análisis de los elementos que considera indispensables para que este proyecto cumpla ese papel y reiterando la convocatoria e integración de otros actores, sociales e individuales, para sumarse a esta tarea.

Lima Marzo 2026

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez

Capítulo 2

Revisión bibliográfica sobre el análisis de series temporales del desempeño portuario de contenedores basado en aprendizaje automático y aprendizaje profundo

Un estudio comparativo de los puertos del Callao e Incheon

Hongsung Yoo

Profesor investigador, Centro de Internacionalización IBS, Facultad de Administración de Empresas, Universidad de Inha, Incheon, República de Corea.

Seungwook Park

Profesor, Escuela de Administración de Empresas, Facultad de Administración de Empresas, Universidad de Inha, Incheon, República de Corea.

Resumen: El corredor logístico del Pacífico que conecta el Asia oriental con América Latina está emergiendo como un eje estratégico de la reconfiguración de las cadenas de suministro mundiales. Dos nodos principales anclan este corredor: el puerto de Incheon, segunda principal puerta de entrada de contenedores de la República de Corea, que registró un récord histórico anual de 3 558 455 TEU en 2024; y el puerto del Callao, principal puerta de entrada marítima del Perú y de la costa oeste sudamericana, cuyas terminales norte y sur procesaron en conjunto aproximadamente 3 millones de TEU en 2024, con la terminal DP World Callao convirtiéndose en 2025 en la primera terminal individual de la costa oeste sudamericana en superar los 2 millones de TEU en un solo año. A pesar del Tratado de Libre Comercio Corea–Perú vigente desde 2011 y de la inauguración del puerto de aguas profundas de Chancay en noviembre de 2024, los estudios empíricos comparativos de estos dos puertos bajo un marco analítico común siguen siendo escasos. El presente capítulo propone y aplica un marco de análisis de series temporales basado en aprendizaje automático (ML) y aprendizaje profundo (DL) que integra (i) modelos estadísticos clásicos de referencia (ARIMA, SARIMA, Prophet); (ii) redes neuronales recurrentes (LSTM, GRU, LSTM bidireccional);

(iii) modelos de secuencia con mecanismos de atención (Transformer, Informer, PatchTST); y (iv) aprendizaje por refuerzo para la evaluación de políticas de asignación de atraques y patios. Se definen cinco dimensiones comparativas de desempeño: volatilidad del tráfico, predictibilidad del tiempo de permanencia, estructura de estacionalidad, sensibilidad a choques externos y efectos de propagación intermodal. El capítulo se posiciona como el plano metodológico de la investigación empírica en curso a través del Programa Conjunto de Investigación Universidad de Inha–UNMSM (2025–2032). Se esperan tres contribuciones: metodológica (un pipeline reproducible para puertos de mercados emergentes con muestras pequeñas); empírica (la primera comparación bilateral Incheon–Callao bajo un marco común); y orientada a políticas (una base de evidencia para el corredor del Pacífico Corea–Perú).

Palabras clave: Logística portuaria/ Terminales de contenedores/ Pronóstico de series temporales/ Aprendizaje automático/ Aprendizaje profundo/ Puerto de Incheon/ Puerto del Callao/ Corredor comercial/ Corea–Perú/ Puerto de Chancay;/ Resiliencia de cadenas de suministro.

1. Introducción

Los puertos de contenedores son simultáneamente arterias y cuellos de botella de las cadenas de suministro mundiales. Tres fuerzas concurrentes han remodelado en los últimos cinco años el panorama competitivo del transporte marítimo de contenedores en el Pacífico: la reconfiguración pospandemia de las cadenas de suministro globales hacia la diversificación geográfica y el near-shoring; la rápida penetración de las técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo en la investigación de operaciones marítimas; y el ascenso de América Latina —y en particular del Perú— como puerta estratégica del Pacífico para el comercio del Asia oriental. Estas tres fuerzas convergen en la relación bilateral entre Incheon, segunda principal puerta de entrada de contenedores de la República de Corea que sirve a la base industrial de la región metropolitana Seúl–Gyeonggi, y el Callao, principal puerta marítima del Perú que procesa la mayor parte del comercio exterior de contenedores del país.

Dos eventos en 2024 y 2025 han precisado el carácter de esta relación bilateral. En primer lugar, DP World Callao concluyó la ampliación del muelle bicentenario en junio de 2024, incrementando la capacidad operacional de la terminal sur

en aproximadamente un 80% y permitiendo el atraque simultáneo de tres buques portacontenedores ultragrandes. Esto permitió a la terminal procesar 1,96 millones de TEU en 2024 y, en 2025, convertirse en la primera terminal individual de la costa oeste sudamericana en superar los 2 millones de TEU anuales. En segundo lugar, el puerto de aguas profundas de Chancay —empresa conjunta entre COSCO Shipping Ports y Volcan Compañía Minera— fue inaugurado el 14 de noviembre de 2024 a aproximadamente 78 km al norte de Lima. Su capacidad de diseño de fase 1 es de 1 millón de TEU al año, y el servicio directo de contenedores Shanghai–Chancay ha reducido el tiempo de tránsito unidireccional Perú–China a aproximadamente 23 días. Estos dos eventos han producido una reconfiguración estructural del panorama portuario de la costa oeste sudamericana en un lapso de apenas dieciocho meses.

Para las empresas exportadoras e importadoras coreanas, esta reconfiguración abre una ventana de oportunidad para acortar los tiempos de tránsito Asia oriental–Sudamérica e integrar más estrechamente al Perú en las cadenas de suministro regionales. Para las autoridades portuarias, los investigadores y los operadores logísticos peruanos surge una pregunta analítica urgente: ¿cómo se compara el desempeño operacional del Callao con el de los principales puertos del Asia oriental como Incheon, y dónde están los cuellos de botella estructurales que la optimización basada en datos podría abordar? Responder a esta pregunta requiere herramientas analíticas capaces de manejar series temporales multivariadas, dependencias no lineales y la propagación de choques externos. Tales herramientas solo recientemente se han vuelto aplicables a los puertos gracias a la convergencia entre la mejora de la infraestructura computacional, la proliferación de bibliotecas de aprendizaje automático de código abierto y la acumulación de datos operacionales de alta frecuencia.

El presente capítulo propone un marco integrado de series temporales con aprendizaje automático y aprendizaje profundo para esta tarea analítica comparativa. En lugar de tratar a Incheon y al Callao como estudios de caso independientes, los abordamos como nodos pareados a lo largo del corredor del Pacífico Corea–Perú. Este enfoque transforma las diferencias entre los dos puertos —composición del comercio, régimen de mareas, estructura del hinterland, entorno institucional— de obstáculos a la comparabilidad en activos analíticos.

El capítulo está organizado de la siguiente manera. La §2 expone el contexto empírico de los dos puertos, incluyendo los datos de desempeño 2024–2025. La §3 revisa la literatura relacionada con la aplicación de técnicas de ML/DL al análisis del desempeño portuario. La §4 presenta el marco analítico propuesto, incluyendo fuentes de datos, arquitecturas de modelos y métricas comparativas. La §5 describe la configuración del estudio de caso, incluyendo la comparación estructural de Incheon y el Callao. La §6 resume las contribuciones esperadas y describe la investigación empírica en curso. La §7 discute las implicancias de política para la cooperación logística Corea–Perú. La §8 cierra con la agenda de investigación.

Este capítulo ha sido redactado como plano metodológico de la investigación empírica actualmente en curso a través del Programa Conjunto de Investigación Universidad de Inha–UNMSM (2025–2032), financiado por el Ministerio de Educación de Corea y la Fundación Nacional de Investigación de Corea. Los resultados empíricos completos correspondientes al período 2020–2025 se reportarán en una publicación posterior independiente.

2. Antecedentes: el corredor del Pacífico Incheon-Callao

2.1 Puerto de Incheon

El puerto de Incheon, situado en la costa del Mar Amarillo a unos 30 km al oeste de Seúl, es el segundo mayor puerto de contenedores de la República de Corea y la principal puerta marítima de la base manufacturera y de consumo de la región metropolitana de la capital. El puerto está organizado en cuatro áreas funcionalmente diferenciadas: el Puerto Interior (17 atraques de 4 290 m, capacidad de manejo 31,66 millones de toneladas) que maneja carga a granel, pasajeros y carga de tránsito por esclusas; el Puerto Norte (9 atraques de 2 123 m, capacidad de manejo 13,93 millones de toneladas más 25,36 millones de toneladas en duques de Alba) que maneja materias primas industriales como acero, madera y cemento; el Puerto Sur y Puerto Costero (27 atraques de 5 175,5 m, capacidad de manejo 27,15 millones de toneladas) con atraques dedicados a contenedores, arena y cemento, además de las terminales internacionales de pasajeros y de cruceros; y el Nuevo Puerto (6 atraques de 1 600 m, capacidad de 2,16 millones de TEU en la fase 1), el más reciente centro logístico de contenedores de la región metropolitana (Autoridad Portuaria de Incheon, 2025).

Las operaciones de contenedores se concentran en la Terminal Sun Kwang del Nuevo Puerto (SNCT) y la Terminal Hanjin Incheon (HJIT) en el Nuevo Puerto. La fase 1-1 del Nuevo Puerto comprende dos terminales de 800 m cada una con calado superior a 16 m, que permiten el atraque simultáneo de un buque de 4 000 TEU (SNCT) y uno de 3 000 TEU (HJIT). Cuando se incorporen las fases 1-2 (apertura prevista para 2028) y 1-3 (futura), la longitud total del muelle alcanzará 3 700 m, el área del patio de contenedores 2,22 millones de m² y la capacidad de manejo 4,92 millones de TEU. Entre los equipos principales destacan grúas pórtico super-post-Panamax y grúas pórtico ferroviarias automatizadas (ARMGC). Los atraques del puerto sur están diferenciados en ICT (2 atraques), E1CT (1 atraque), muelle de carbón (1 atraque), terminal internacional de pasajeros (7 atraques) y terminal de cruceros (1 atraque).

Las estadísticas oficiales publicadas por la Autoridad Portuaria de Incheon para los 21 años del período 2005–2025 muestran con claridad la transición estructural que este estudio busca diagnosticar (tabla 1). La participación de la carga en contenedores aumentó del 16,1% (18,18 millones de RT) en 2005 al 37,3% (53,61 millones de RT) en 2025, un incremento de 21,2 puntos porcentuales; la participación de la carga general descendió en el mismo período del 46,1% al 24,8% (caída de 21,3 pp); y la participación del petróleo se mantuvo estable en el rango 32–38%. Esta transición composicional se desarrolló en dos etapas: (i) en 2005–2017 la carga general fue la categoría más grande (38,0% de los 165 567 mil RT en 2017); (ii) un régimen de "tres pilares (鼎立)" en el que el petróleo se convirtió en la mayor categoría por primera vez en 2018, los contenedores en 2019 y 2024, y nuevamente el petróleo en 2025 — lo que indica que la identidad de Incheon ha pasado de "puerto compuesto de carga general" a "puerto industrial multivariado".

Tabla N°01: Composición de la carga del Puerto de Incheon, 2005-2025 (unidades: miles de RT, %)

Año	Contenedor	Part. (%)	Petróleo	Part. (%)	General	Part. (%)	Total	Mayor
2005	18 187 524	16,1	42 751 166	37,8	52 133 631	46,1	113 072 321	General
2010	31 374 006	20,9	49 401 335	32,9	69 395 262	46,2	150 170 603	General
2015	39 388 727	25,0	52 374 867	33,2	65 894 127	41,8	157 657 721	General
2017	46 114 267	27,9	56 501 212	34,1	62 951 265	38,0	165 566 744	General
2018	51 728 480	31,6	59 797 858	36,5	52 167 908	31,9	163 664 246	Petróleo
2019	54 403 559	34,5	54 107 312	34,4	48 967 790	31,1	157 478 661	Contenedor
2020	50 315 359	33,1	51 236 360	33,7	50 365 498	33,2	151 917 217	Petróleo
2023	53 309 593	36,4	54 627 378	37,3	38 415 331	26,3	146 352 302	Petróleo
2024	54 418 610	37,0	53 863 034	36,6	38 899 896	26,4	147 181 540	Contenedor
2025	53 605 653	37,3	54 574 524	38,0	35 585 452	24,8	143 765 629	Petróleo

Fuente: Autoridad Portuaria de Incheon (2025), "Estadísticas Principales del Puerto de Incheon (2005-2025)". RT denota tonelada métrica de ingresos (Revenue Tonnage) para la carga general y de petróleo; el RT del contenedor es un valor equivalente en toneladas. El conjunto de datos completo de 21 años está incluido en el paquete de código adjunto como data/incheon_annual_2005_2025.csv.

El tráfico anual de contenedores en TEU muestra la misma tendencia. El tráfico aumentó de 3,46 millones de TEU en 2023 a 3 558 455 TEU en 2024 (+2,8% interanual), estableciendo un récord histórico anual. La composición de 2024 fue de aproximadamente 1,77 millones de TEU de importaciones, 1,74 millones de TEU de exportaciones y 49 mil TEU de transbordos. Por destino de exportación en 2024, China representó el 66%, Vietnam el 8,4%, Taiwán el 3,6%, Hong Kong el 2,5% y Malasia el 2,0%. A inicios de 2026, la red de servicios regulares de contenedores de Incheon se ha expandido a 72 servicios, resultado de los esfuerzos agresivos de marketing realizados por la Autoridad Portuaria de Incheon (IPA) dirigidos a China, el sudeste asiático, las Américas y el sur de Asia.

Una segunda característica estructural del puerto de Incheon es la operación simultánea de funciones de carga y de pasajeros. Las estadísticas de pasajeros de turismo marítimo 2005–2025 revelan claramente el choque del COVID-19 y su recuperación asimétrica (Tabla 2). El volumen combinado de pasajeros costeros e internacionales alcanzó su máximo de 2,15 millones en 2013, se recuperó a 2,04 millones en 2019, y luego cayó bruscamente a 0,81 millones y 0,77 millones en 2020 y 2021 respectivamente bajo el choque del COVID. Para 2025 el volumen había rebotado a 1,57 millones, recuperando aproximadamente el 77% del nivel prepandemia. En particular, las recaladas de cruceros se duplicaron con creces en un solo año, pasando de 15 recaladas / 25 mil pasajeros en 2024 a 32 recaladas / aproximadamente 80 mil pasajeros en 2025; las operaciones de puerto base (home port) se expandieron rápidamente de 2 (2023) a 5 (2024) y a 15 (2025). Esto indica que Incheon está transitando de puerto de escala a puerto base.

Tabla N°02: Estadísticas de pasajeros de turismo marítimo del Puerto de Incheon, años principales 2005-2025 (unidades: personas, recaladas)

Año	Costero	Internacional	Recaladas cruce-ro	Puerto base	Pasajeros cruce-ro	Total
2005	731 251	789 509	0	0	0	1 520 760
2013	1 063 230	918 437	95	0	172 420	2 154 087
2019	1 003 740	1 027 019	10	0	12 342	2 043 101
2020	763 054	48 623	0	0	0	811 677
2023	890 753	67 557	10	2	12 403	970 713
2024	867 319	357 402	10	5	25 140	1 249 861
2025	1 081 234	414 178	17	15	79 455	1 574 867

Fuente: Autoridad Portuaria de Incheon (2025), "Estadísticas de Pasajeros de Turismo Marítimo desde la Creación de la IPA". El conjunto completo de datos de 21 años está incluido en el paquete de código adjunto.

La trayectoria futura de expansión de capacidad se apoya en el desarrollo de la fase 1-2 del Nuevo Puerto. Con un costo total de 672 700 millones de wones (aproximadamente 490 millones de dólares), este proyecto construirá la segunda terminal de contenedores totalmente automatizada de Corea, con la construcción de la superestructura iniciándose en 2025 y la apertura comercial prevista para la segunda mitad de 2028. Los tres nuevos atraques podrán acomodar buques de hasta 30 000 TEU —superando el actual máximo mundial de 24 000 TEU y por tanto preparados para el futuro— y proporcionarán 1,38 millones de TEU de capacidad anual adicional, elevando la capacidad total de contenedores del puerto a aproximadamente 4,08 millones de TEU. El complejo logístico del hinterland incluye el Complejo Logístico Aam 1 (ya en operación) y el Complejo Logístico Aam 2 (fases 1-1, 1-2 y 2 combinadas, aproximadamente 1,10 millones de m², finalización por fases 2021–2025). El terreno Golden Harbour, complejo de hinterland portuario de tipo 2 de aproximadamente 428 mil m², fue completado en 2020 y se está desarrollando como complejo mixto de marina y turismo marítimo. Los objetivos de la IPA son 5 millones de TEU para 2030 y 5,5 millones de TEU para 2035.

Las características operacionales del puerto de Incheon pueden resumirse en cuatro puntos. Primero, la fuerte exposición al transporte intrarregional de cabotaje produce un patrón de tráfico de alta frecuencia y bajo volumen (por recalada), lo que hace especialmente importante la agilidad en la programación de atraques. Segundo, el entorno macromareal con un rango de marea que excede rutinariamente los 9 m —raro entre los principales puertos de contenedores del mundo— impone restricciones operacionales no triviales a la programación de buques y al manejo de carga. Tercero, la proximidad al Aeropuerto Internacional de Incheon

y a la base industrial de la región metropolitana permite una fuerte integración intermodal pero también genera externalidades de congestión en el lado terrestre que requieren gestión activa. Cuarto, en términos de composición de la carga, Incheon es un puerto industrial multivariado en el que los contenedores, el petróleo y la carga general forman una estructura de "tres pilares", lo que proporciona resiliencia relativamente alta a choques de una sola categoría de carga, al tiempo que hace que la optimización operacional sea correspondientemente multidimensional. Incheon es además la principal puerta de la industria coreana de exportación de vehículos usados, procesando aproximadamente 500 000 vehículos al año, de los cuales aproximadamente el 80% viaja en contenedor.

2.2. Puerto del Callao

El puerto del Callao es el puerto más grande y de mayor importancia estratégica del Perú, situado a aproximadamente 15 km al oeste del centro de Lima. El puerto procesa la abrumadora mayoría del comercio exterior de contenedores del Perú a través de dos instalaciones principales de contenedores: la Terminal Norte operada por APM Terminals Callao y la Terminal Sur operada por DP World Callao. En 2024 el sistema portuario nacional peruano procesó más de 3,5 millones de TEU (+11,1% sobre los 3,10 millones de TEU de 2023), de los cuales aproximadamente 3 millones de TEU pasaron por el Callao — DP World Terminal Sur 1,96 millones de TEU y APM Terminals Terminal Norte aproximadamente 1,10 millones de TEU. En 2025 DP World Callao se convirtió en la primera terminal de la costa oeste sudamericana en superar los 2 millones de TEU en un solo año.

La trayectoria de desempeño de DP World Callao ilustra el impacto transformador de la inversión reciente en infraestructura. La ampliación del Muelle Bicentenario, de aproximadamente 400 millones de dólares, fue concluida en junio de 2024, extendiendo la longitud del muelle Sur de 650 m a 1 050 m, ampliando el patio de contenedores a 40 hectáreas y agregando tres nuevas grúas de muelle super-post-Panamax, doce grúas pórtico de neumáticos eléctricas (RTG) y veinte vehículos de transferencia interna. La ampliación incrementó la capacidad operacional en aproximadamente un 80% hasta 2,7 millones de TEU al año y permitió el atraque simultáneo de tres buques portacontenedores ultragrandes. En septiembre de 2024 la terminal recibió al APL Fullerton, con una capacidad de carga superior a 17 200 TEU — el buque más grande que jamás haya recalado en

un puerto peruano. La inversión acumulada de DP World en el Callao desde 2010 supera los 3 000 millones de dólares. Según un análisis de Apoyo Consultoría, las operaciones de DP World Callao contribuyeron aproximadamente 316 millones de dólares directamente al PBI peruano de 2024 y están asociadas con una actividad económica más amplia estimada en aproximadamente 23 600 millones de dólares.

La composición del comercio del Callao difiere estructuralmente de la de Incheon. Las exportaciones están dominadas por productos minerales (en particular concentrados de cobre, zinc y plomo), harina de pescado y productos agrícolas. A noviembre de 2025, el puerto del Callao maneja el 55,8% del total de exportaciones agrícolas del Perú, de las cuales el 35,2% transita por las terminales de DP World; el 85% de los embarques peruanos de arándanos pasa por este puerto. Las importaciones comprenden bienes de capital, vehículos, granos y bienes de consumo procedentes de Asia oriental, América del Norte y Europa. El puerto del Callao está conectado directamente con la base industrial de Lima, la Carretera Panamericana y el corredor minero andino peruano, con proximidad al Aeropuerto Internacional Jorge Chávez que permite la integración intermodal.

2.3. Puerto de Chancay

El puerto de aguas profundas de Chancay, situado a aproximadamente 78 km al norte de Lima y a 80 km del Callao, fue inaugurado el 14 de noviembre de 2024. Empresa conjunta entre COSCO Shipping Ports (60%) y Volcan Compañía Minera (40%), la capacidad de diseño de la fase 1 de Chancay es de 1 millón de TEU al año. El servicio directo de contenedores Shanghái-Chancay ha reducido el tiempo de tránsito unidireccional Perú-China a aproximadamente 23 días. A noviembre de 2025, el volumen acumulado durante el primer año de operación alcanzó aproximadamente 600 mil TEU, utilizando alrededor del 60% de la capacidad de la fase 1. La aparición de Chancay establece una relación dual de complementariedad y competencia con el puerto del Callao, desencadenando una reconfiguración estructural de la economía portuaria interna del Perú. Con una inversión inicial de capital de 1 300 millones de dólares y una inversión total planificada de 3 600 millones de dólares, Chancay está diseñado para funcionar como un hub regional de transbordo que sirve a la costa oeste de América Latina.

2.4. El corredor bilateral Corea–Perú

El corredor comercial bilateral Corea–Perú obtuvo su arquitectura institucional con el Tratado de Libre Comercio Corea–Perú, vigente desde 2011. Catorce años después de la entrada en vigor, en 2025 el comercio bilateral se había aproximadamente duplicado con respecto a la línea base previa al TLC. Las exportaciones coreanas al Perú están dominadas por automóviles, autopartes, productos electrónicos y maquinaria; las importaciones coreanas desde el Perú por productos minerales (en particular cobre), productos pesqueros (harina de pescado) y productos agrícolas (paltas, arándanos, mandarinas, espárragos). Corea es actualmente uno de los cinco principales socios comerciales del Perú, y el Perú es uno de los principales socios comerciales sudamericanos de Corea. Este capítulo examina cómo opera este corredor bilateral a través de los dos puertos de Incheon y el Callao, y cómo puede ser fortalecido mediante el análisis basado en datos.

3. Investigación de aprendizaje automático y aprendizaje profundo en la logística portuaria: revisión bibliográfica

La aplicación de técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo a problemas de logística portuaria se expandió rápidamente desde 2018 y se aceleró aún más a partir de 2022 con la difusión de los modelos de secuencia basados en Transformer y los enfoques generativos. Esta sección organiza la literatura relevante en cuatro corrientes y concluye identificando la brecha analítica que motiva el presente estudio.

3.1. Pronóstico de tráfico y de tiempo de permanencia

Los estudios iniciales aplicaron técnicas estadísticas clásicas (ARIMA, SARIMA, suavizamiento exponencial) y redes neuronales superficiales al pronóstico mensual de tráfico de contenedores en puertos individuales [1–3]. La introducción de las redes de memoria a corto y largo plazo (LSTM) mejoró sustancialmente la precisión del pronóstico a mediano plazo al capturar las dependencias de largo alcance en las series temporales portuarias [4, 5]. Extensiones posteriores—LSTM bidireccional, LSTM con atención aumentada, arquitecturas híbridas CNN-LSTM— se han aplicado al tráfico de contenedores, llegada de buques y pronóstico del tiempo de permanencia en patio, ofreciendo de manera consistente

mejoras incrementales del 15–30% de reducción en MAPE sobre las líneas base clásicas, dependiendo de la riqueza de los datos y del horizonte de pronóstico.

3.2. Modelos de secuencia con Transformer y atención

A partir de aproximadamente 2021, las arquitecturas basadas en Transformer adaptadas a series temporales —Informer [6], Autoformer [7], FEDformer, PatchTST y otras— han emergido como alternativas competitivas a los modelos de la clase LSTM, particularmente para el pronóstico de horizonte largo. Estos modelos, liberados de las restricciones estructurales de la recurrencia secuencial, pueden absorber múltiples series de entrada concurrentes (ocupación de atraques, llegada de buques, clima, indicadores macroeconómicos) mediante mecanismos de atención unificados, lo que los hace especialmente prometedores para aplicaciones portuarias. Estudios comparativos recientes en benchmarks de series temporales marítimas reportan que las variantes de Transformer igualan o superan el desempeño de LSTM en horizontes superiores a 30 días, al costo de mayores requerimientos de datos y de cómputo.

3.3. Aprendizaje por refuerzo para asignación de atraques y patios

Una literatura paralela aplica técnicas de aprendizaje por refuerzo (RL) —Deep Q-Network, PPO (Proximal Policy Optimization), SAC (Soft Actor-Critic), entre otras— a problemas clásicos de investigación de operaciones portuarias como la asignación de atraques, la programación de grúas de muelle y la asignación de bloques de patio [8, 9]. Comparados con las formulaciones de programación entera, los enfoques de RL intercambian las garantías de optimalidad por la capacidad de operar bajo incertidumbre y en entornos de alta dimensionalidad, integrándose naturalmente con entornos de gemelo digital basados en simulación. Las revisiones recientes del RL para asignación de atraques en terminales de contenedores documentan un rápido progreso metodológico al tiempo que señalan la accesibilidad de los datos, la verificación de seguridad y la aceptación por parte de los operadores como las principales barreras.

3.4. IA generativa y escenarios sintéticos

Más recientemente, los métodos de IA generativa —autocodificadores variacionales (VAE), modelos de difusión y modelos de lenguaje grandes (LLM)— se han aplicado a problemas de logística portuaria de dos maneras: (i) generación

de escenarios sintéticos para pruebas de robustez frente a eventos extremos raros como tifones, huelgas y interrupciones geopolíticas [10]; y (ii) copilotos basados en modelos de lenguaje para procesamiento de documentos regulatorios, automatización aduanera y comunicación multilingüe con grupos de interés. Dado que la mayoría de los puertos de mercados emergentes operan en entornos restringidos en datos, la aumentación generativa de datos históricos escasos resulta especialmente prometedora, aunque persisten preguntas abiertas sobre la fidelidad y los artefactos inducidos por los modelos.

3.5. Brecha analítica

La brecha clara en esta literatura es el análisis empírico comparativo entre entornos portuarios estructuralmente disímiles. La mayoría de los estudios existentes se centran en un único puerto —típicamente un hub importante de Asia oriental o de Europa— y la generalización de los resultados a puertos con perfiles de comercio, regímenes climáticos e infraestructuras de datos diferentes se mantiene en el plano especulativo. Más aún, los pocos estudios comparativos existentes se basan en gran medida en indicadores de evaluación agregados (Índice de Conectividad de Transporte Marítimo de Línea de la UNCTAD, CPPI del Banco Mundial) en lugar del modelado de series temporales a nivel operacional. El presente estudio aborda directamente esta brecha al adoptar un diseño comparativo de pares emparejados y al seleccionar un par de puertos (Incheon–Callao) cuyas diferencias estructurales son lo suficientemente grandes para que la comparación constituya un banco de pruebas de alto contraste para la generalización.

4. Marco analítico propuesto

4.1. Fuentes de datos

El marco propuesto se construye sobre los datos operacionales de acceso público de los dos puertos, complementados con fuentes secundarias.

- Puerto de Incheon: estadísticas públicas de la Autoridad Portuaria de Incheon (IPA) — datos anuales de carga de los 21 años 2005–2025 (separados en contenedor, petróleo y carga general, expandidos a 252 observaciones mensuales) y estadísticas de pasajeros de turismo marítimo, incluidos en el paquete de código adjunto; tráfico mensual de contenedores por comercio y por terminal; ocupación de atraques; recaladas y tiempos de permanencia de buques; estadísticas de

transporte marítimo del KMI/MOF; registros operacionales de Port-MIS accesibles a investigadores autorizados.

- Puerto del Callao: boletines estadísticos anuales y mensuales de la Autoridad Portuaria Nacional (APN); reportes operacionales de ENAPU; reportes de supervisión del OSITRAN sobre DP World Callao y APM Terminals Callao; reportes corporativos de sostenibilidad y operaciones de DP World Callao y APM Terminals.
- Datos de referencia de movimiento de buques: conjuntos de datos basados en AIS (MarineTraffic, archivos históricos de VesselFinder) — marcas de tiempo de 15 minutos para llegada, atraque y salida, utilizadas para derivar las distribuciones del tiempo de espera y del tiempo de permanencia.
- Covariables macroeconómicas y comerciales: flujos comerciales bilaterales de UN Comtrade a nivel HS-6; UNCTAD Review of Maritime Transport; CPPI del Banco Mundial; datos comerciales del Servicio de Aduanas de Corea y de la SUNAT (Perú).
- Covariables climáticas y de eventos disruptivos: datos de reanálisis de la NOAA y del SENAMHI peruano (índices El Niño/La Niña, temperatura superficial del mar, anomalías de precipitación); registros de eventos disruptivos basados en noticias (huelgas, tifones, cierres de canal, eventos geopolíticos).

El período de observación objetivo es de enero de 2020 a diciembre de 2025, lo que proporciona aproximadamente 72 observaciones mensuales y aproximadamente 2 190 observaciones diarias por puerto. Esto se reconoce explícitamente como un régimen de muestra pequeña según los estándares del aprendizaje profundo. El diseño metodológico lo compensa mediante el aprendizaje por transferencia, el entrenamiento conjunto multipuerto y la aumentación generativa de datos (véanse las §4.3 y §4.4).

4.2. Suite de modelos de cuatro capas

El marco especifica cuatro capas de modelos, cada una de las cuales aborda una pregunta analítica distinta. La tabla 3 resume la estructura.

Tabla N° 03: Suite de modelos de cuatro capas del marco analítico propuesto

Capa	Pregunta de investigación	Modelos candidatos	Rol
(i) Línea base estadística	¿Cómo luce la serie temporal sin ML?	ARIMA, SARIMA, Prophet, suavizamiento exponencial (ETS)	Interpretabilidad; referencia de comparación de errores
(ii) DL recurrente	¿Mejoran la precisión las dependencias temporales de largo alcance?	LSTM, GRU, Bi-LSTM, LSTM con atención	Estructura troncal del pronóstico de mediano plazo
(iii) Secuencia con atención	¿Los modelos multivariados con atención superan a los recurrentes?	Transformer, Informer, Autoformer, FEDformer, PatchTST	Pronóstico multivariado de horizonte largo
(iv) Aprendizaje por refuerzo	¿Qué política de asignación es óptima bajo incertidumbre?	PPO, SAC, DQN en entornos simulados de ataques/patios	Evaluación normativa de políticas

Fuente: Elaboración propia

4.3. Cinco dimensiones comparativas de desempeño

Utilizando la suite de modelos anterior, los dos puertos se evalúan a lo largo de cinco dimensiones comparativas de desempeño.

- D1 Volatilidad del tráfico — desviación estándar y estructura de momentos de orden superior del tráfico mensual y semanal en TEU tras controlar la tendencia y la estacionalidad mediante descomposición STL. La heterocedasticidad condicional a nivel de puerto se estima utilizando modelos de la clase GARCH y se compara con los diagnósticos de residuos del ML.
- D2 Predictibilidad del tiempo de permanencia — distribución del error de pronóstico del tiempo de permanencia de contenedores en cada terminal, medida por MAE, RMSE y MAPE en los horizontes de 1, 7 y 30 días; las comparaciones por pares de modelos utilizan la prueba de Diebold–Mariano.
- D3 Estructura de estacionalidad — amplitud, fase y descomposición de los ciclos intra- e interanuales, incluyendo el Año Nuevo Lunar, los ciclos fiscales peruanos, la temporada peruana de pesca de anchoveta y las ventanas de exportación de arándanos/paltas del hemisferio norte.
- D4 Sensibilidad a choques externos — estimación de respuesta al impulso frente a choques macroeconómicos (fluctuaciones del comercio bilateral), cho-

ques climáticos (episodios El Niño, tifones, mareas de tormenta) y choques logísticos (restricciones por sequía en el Canal de Panamá, interrupciones en el Suez/Mar Rojo, huelgas).

- D5 Efectos de propagación intermodal — la medida en que las anomalías de desempeño portuario se propagan a la logística terrestre (ferrocarril, transporte por carretera, almacenamiento) y a los puertos cooperantes aguas arriba/abajo. Se aplican causalidad de Granger y entropía de transferencia a las series temporales conjuntas puerto–hinterland.

4.4. Aprendizaje por transferencia y aumentación generativa de datos

La ventana de observación relativamente corta del Callao —y de la mayoría de los puertos de mercados emergentes— se aborda mediante dos dispositivos metodológicos. Primero, los modelos recurrentes y de atención se preentrenan conjuntamente en un conjunto multipuerto agrupado (Incheon, Busan, Callao, más los puertos de referencia Rotterdam, Long Beach y Singapur) y se ajustan finalmente puerto por puerto. Este diseño de aprendizaje por transferencia explota las regularidades entre puertos a la vez que preserva la estructura específica del puerto. Segundo, la aumentación generativa —autocodificadores variacionales condicionales (CVAE) y modelos de difusión— se utiliza para sintetizar escenarios de eventos raros que son operacionalmente significativos para la evaluación de robustez pero estructuralmente ausentes de la muestra observada (por ejemplo, un choque mensual de demanda del 30%, un cierre de atraque de 72 horas, una interrupción meteorológica de 2σ). Las muestras sintéticas se utilizan únicamente para pruebas de estrés y aumentación durante el entrenamiento, no para el reporte de desempeño.

4.5. Protocolo de evaluación

Todos los modelos se evalúan bajo un protocolo de validación cruzada de origen rodante con una división 80/10/10 de entrenamiento/validación/prueba, una ventana expansiva y una prueba fuera-de-muestra explícita sobre los últimos doce meses de datos. Los errores de pronóstico se reportan como MAE, RMSE, MAPE y sMAPE; se utiliza la pérdida pinball en paralelo para la evaluación de pronósticos probabilísticos. La significación estadística de las diferencias de pronóstico se evalúa mediante la prueba de Diebold–Mariano con la corrección de muestra

pequeña de Harvey–Leybourne–Newbold. Todo el código, los datos preprocesados (sujeto a las restricciones de intercambio de datos) y los pesos de los modelos entrenados se confiarán a un repositorio público en el momento de la publicación final.

5. Configuración del estudio de caso: Incheon y el Callao

La tabla 4 resume las características estructurales de los dos puertos. Salvo indicación en contrario, todas las cifras corresponden a 2024. El conjunto de datos empírico completo asociado con este estudio refinará estas cifras a resolución mensual hasta 2025.

Tabla N° 04: Comparación estructural de los puertos de Incheon y el Callao (línea base 2024)

Dimensión	Puerto de Incheon (Corea)	Puerto del Callao (Perú)
Tráfico anual de contenedores	3,56 M TEU (2024) / ~3,65 M TEU (proyección 2025)	~3,0 M TEU combinados (2024); DP World terminal individual 2,0 M+ TEU (2025)
Terminales principales	SNCT, HJIT (Nuevo Puerto)	DP World Callao (Sur) / APM Terminals (Norte)
Capacidad máxima de buque	4 000 TEU + 30 000 TEU (desde 2028)	17 200 TEU (APL Fullerton, set. 2024)
Composición del comercio	Contenedor 37,3% / Petróleo 38,0% / General 24,8% (2025, miles de RT)	Concentrados de cobre, zinc y plomo; harina de pescado; agrícola (85% arándanos); importaciones de bienes de capital, vehículos, granos
Principales destinos de exportación	China 66%, Vietnam 8,4%, Taiwán 3,6%	Estados Unidos, China, UE, Corea
Entorno marítimo	Macromareal (>9 m), Mar Amarillo	Rango mareal moderado, corriente de Humboldt (exposición a El Niño)
Conectividad con el hinterland	Región metropolitana Seúl–Gyeonggi (pob. 26 M), Aeropuerto de Incheon	Lima Metropolitana (pob. 11 M), corredor minero andino, Aeropuerto Jorge Chávez
Infraestructura reciente	Automatización Fase 1-2 del Nuevo Puerto (apertura 2028)	Ampliación del Muelle Bicentenario (jun. 2024, +80% de capacidad)
Disponibilidad de datos	Estadísticas públicas IPA (252 meses, 2005–2025) / Port-MIS (acceso autorizado)	Boletines APN, supervisión OSITRAN, reportes DP World y APM

Fuentes: Autoridad Portuaria de Incheon (2025), APN (2025), DP World (2025), elaboración propia.

6. Contribuciones esperadas

Se espera que el capítulo y la investigación empírica asociada contribuyan a la investigación en logística portuaria a lo largo de tres ejes.

6.1. Contribución metodológica

Un pipeline reproducible de series temporales con ML/DL adaptado a entornos portuarios de mercados emergentes con muestra pequeña, que incluye componentes explícitos de aprendizaje por transferencia y aumentación generativa. Dentro de los límites permitidos por los acuerdos de intercambio de datos, el pipeline se publicará como código abierto junto con el conjunto de datos multipuerto proce-

sado al momento de la finalización. Esto aborda directamente la brecha de reproducibilidad y de accesibilidad a conjuntos de datos de referencia frecuentemente señalada en la literatura de investigación portuaria.

6.2. Contribución empírica

Hasta donde los autores tienen conocimiento, este estudio constituye la primera comparación cuantitativa integrada entre Incheon y el Callao bajo un marco analítico común. Los estudios comparativos existentes de puertos de contenedores asiáticos y latinoamericanos se han basado en gran medida en indicadores agregados como el Índice de Conectividad de Transporte Marítimo de Línea (LSCI) de la UNCTAD y el Índice de Desempeño de Puertos de Contenedores (CPPI) del Banco Mundial. El presente estudio se mueve de la evaluación agregada al nivel operacional, permitiendo el diagnóstico de cuellos de botella específicos en lugar de un mero ranking.

6.3. Contribución orientada a políticas

El estudio está diseñado para informar dos agendas activas de política pública: (i) el interés de política coreano en fortalecer los lazos de cadena de suministro del Pacífico con el Perú y la región andina más amplia tras la inauguración de Chancay en noviembre de 2024; y (ii) el interés de política peruano en evaluar el desempeño operacional del Callao frente a puertos de referencia del Asia oriental mientras Chancay reconfigura la economía portuaria interna. Los resultados se comunicarán a través de canales académicos y de política, incluyendo los mecanismos de difusión del programa conjunto Universidad de Inha–UNMSM.

7. Implicancias de política para el corredor del Pacífico Corea-Perú

Incluso antes de los resultados empíricos completos, pueden anticiparse tres implicancias de política a partir del marco.

Primero, la infraestructura de datos es una condición previa para el rigor analítico. Gran parte de la brecha analítica en la investigación portuaria latinoamericana proviene no de debilidad metodológica sino de déficits de accesibilidad de datos. Un protocolo bilateral Corea-Perú de intercambio de datos que cubra datos operacionales anonimizados de terminales —tiempos de permanencia, ocupación de atraques, patrones de recalada— abriría una categoría de análisis conjunto actualmente inviable. El programa Inha-UNMSM está bien posicionado para liderar tal protocolo a escala académica, sujeto a las salvaguardas de confidencialidad apropiadas, con potencial de extensión posterior a un intercambio operador-a-operador.

Segundo, el desarrollo del capital humano debe acompañar la adopción tecnológica. Desplegar herramientas de ML/DL ante operadores portuarios y reguladores requiere no solo software y datos sino también analistas capacitados capaces de interpretar las salidas de los modelos e integrarlas en la toma de decisiones operacional. El nuevo Departamento de Cadena de Suministro Digital e Ingeniería Logística de la UNMSM, que se establecerá bajo el programa conjunto Inha-UNMSM (2025-2032), está diseñado explícitamente para producir egresados de este perfil mediante un currículo que integra ML/DL basado en Python, investigación de operaciones y logística portuaria aplicada.

Tercero, el análisis comparativo bilateral entre puertos es un activo en negociaciones de TLC y de facilitación del comercio. La evidencia empírica sobre dónde se encuentran realmente los cuellos de botella a lo largo del corredor comercial bilateral proporciona bases mucho más precisas y mejor focalizadas para intervenciones de facilitación del comercio que las que pueden sustentar los indicadores agregados. El TLC Corea-Perú, ahora en su decimoquinto año de vigencia y bajo discusiones de modernización, podría beneficiarse particularmente de tal evidencia respecto a las exportaciones peruanas agrícolas con cadena de frío (arándanos, paltas, mandarinas) y los flujos coreanos de vehículos usados al Perú.

8. Conclusiones e investigación futura

Este capítulo ha situado el estudio comparativo de los puertos de Incheon y del Callao en el contexto más amplio del corredor logístico del Pacífico Corea–Perú y ha propuesto un marco de análisis de series temporales con aprendizaje automático y aprendizaje profundo para él. El marco integra líneas base estadísticas clásicas, arquitecturas de aprendizaje profundo recurrentes y basadas en atención, evaluación de políticas con aprendizaje por refuerzo y aumentación generativa de datos, aplicadas a lo largo de cinco dimensiones comparativas de desempeño. Los dos puertos emergen como un conjunto pareado de nodos de interés analítico porque las diferencias estructurales entre ellos —en composición del comercio, régimen de mareas, perfil del hinterland, entorno institucional y trayectoria reciente de infraestructura— son lo suficientemente grandes para proporcionar un banco de pruebas de alto contraste para la generalización de la metodología de pronóstico del desempeño portuario.

Se proponen tres direcciones prioritarias para investigación futura. Primero, la implementación empírica del marco sobre el conjunto de datos 2020–2025 está en curso y será objeto de una publicación posterior. Segundo, después de que se acumulen aproximadamente 24 meses de datos operacionales posteriores a la inauguración hacia finales de 2026, la extensión del marco para incorporar el puerto de aguas profundas de Chancay proporcionará un punto de referencia natural dentro del Perú y permitirá el análisis directo de la dinámica de competencia–cooperación Callao–Chancay que actualmente está reconfigurando la economía portuaria peruana. Tercero, la integración del marco en un entorno de simulación de gemelo digital que combine las capas de pronóstico y de aprendizaje por refuerzo proporcionará herramientas prácticas de apoyo a la decisión para autoridades portuarias y planificadores de líneas navieras que operan a lo largo del corredor Corea–Perú.

9. Referencias

- [1] Peng, W.-Y., y Chu, C.-W. (2009). A comparison of univariate methods for forecasting container throughput volumes. *Mathematical and Computer Modelling*, 50(7–8), 1045–1057.
- [2] Xie, G., Wang, S., Zhao, Y., y Lai, K. K. (2013). Hybrid approaches based on LSSVR model for container throughput forecasting: A comparative study. *Applied Soft Computing*, 13(5), 2232–2241.
- [3] Schulze, P. M., y Prinz, A. (2009). Forecasting container transshipment in Germany. *Applied Economics*, 41(22), 2809–2815.
- [4] Hochreiter, S., y Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
- [5] Shankar, S., Ilavarasan, P. V., Punia, S., y Singh, S. P. (2020). Forecasting container throughput with long short-term memory networks. *Industrial Management & Data Systems*, 120(3), 425–441.
- [6] Zhou, H., Zhang, S., Peng, J., Zhang, S., Li, J., Xiong, H., y Zhang, W. (2021). Informer: Beyond efficient Transformer for long sequence time-series forecasting. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 35(12), 11106–11115.
- [7] Wu, H., Xu, J., Wang, J., y Long, M. (2021). Autoformer: Decomposition transformers with auto-correlation for long-term series forecasting. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 34, 22419–22430.
- [8] Zhang, C., Wu, Y., Zhao, Y., y Zhou, Y. (2024). Deep reinforcement learning for container terminal berth allocation: A review. *Transportation Research Part E*, 181, 103396.
- [9] Hottung, A., Tanaka, S., y Tierney, K. (2020). Deep learning assisted heuristic tree search for the container pre-marshalling problem. *Computers & Operations Research*, 113, 104781.
- [10] Notteboom, T., Pallis, A., y Rodrigue, J.-P. (2022). *Port Economics, Management and Policy*. Londres: Routledge.
- [11] UNCTAD (2024). *Review of Maritime Transport 2024*. Ginebra: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.

- [12] Banco Mundial (2025). The Container Port Performance Index 2020 to 2024: Trends and Lessons Learned. Washington, DC: Grupo del Banco Mundial.
- [13] Autoridad Portuaria de Incheon (IPA) (2025). Reporte Anual 2024 de Tráfico de Contenedores del Puerto de Incheon. Incheon: IPA. [Récord anual 3 558 455 TEU.]
- [14] Autoridad Portuaria de Incheon (IPA) (2025). "Estadísticas Principales del Puerto de Incheon (2005–2025)" y "Estadísticas de Pasajeros de Turismo Marítimo desde la Creación de la IPA". Incheon: IPA. [Fuente oficial de las series temporales de carga y pasajeros de este capítulo; datos de 21 años, 252 meses.]
- [15] Autoridad Portuaria de Incheon (IPA) (2025). "Plano del Puerto de Incheon" y "Plano del Puerto Sur, Puerto Costero y Nuevo Puerto". Incheon: IPA. [Fuente oficial de las especificaciones de atraques, fondeaderos e inventario de muelles del Puerto Interior, Norte, Sur y Nuevo.]
- [16] Autoridad Portuaria Nacional del Perú (APN) (2025). Estadísticas Portuarias 2024: Sistema Portuario Nacional. Lima: APN. [Tráfico nacional 3,5 M TEU, +11,1% interanual.]
- [17] DP World (2026). DP World Scales Latin America Trade Connectivity with Record Throughput in 2025. Comunicado de prensa, 16 de marzo de 2026.
- [18] DP World (2025). DP World Callao: Pioneering Growth and Sustainability in 2024. Comunicado de prensa corporativo, 3 de febrero de 2025.
- [19] COSCO Shipping Ports Chancay Perú S.A. (2024). Inauguración del Puerto de Chancay — especificaciones operacionales de la fase 1. Comunicado de prensa, 15 de noviembre de 2024.

DIAGRAMACIÓN DE TEXTO, MAQUETACIÓN Y DISEÑO: CARLOS ALBERTO VEGA VIDAL
ARTE, CARÁTULA Y CORRECCIÓN: MARELLA SOLEDAD VILLAVICENCIO QUIÑONES

PRIMERA EDICIÓN DIGITAL, JULIO 2026

