

**Análisis de Modelos para la Integración Digital en Hubs brasileños: Impacto de la  
Madurez Tecnológica en el Desempeño Logístico**

**Evelin Yulitcy Mejía Cárdenas**

**Trabajo de grado para optar el título de Profesional en Negocios Internacionales**

**Opción de grado: Ensayo Periplo**

**Director**

**Carlos Javier Pinto Suárez**

**Magister en Finanzas**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables**

**Facultad de Negocios Internacionales**

**2025**

## Contenido

1. Análisis de Modelos para la Integración Digital en Hubs brasileños: Impacto de la Madurez Tecnológica en el Desempeño Logístico.....	9
1.1 Tema: explicación del tema y justificación de su escogencia. ....	9
1.2 Problema: exposición y explicación del problema. ....	10
1.3 Hipótesis.....	11
1.4 Plan de trabajo: exposición de la metodología a trabajar y la manera cómo va a desarrollar el ensayo en cada una de sus secciones. ....	12
2. Argumentos a favor de la hipótesis.....	13
2.1 Argumento 1. La reversión en la congestión y progreso variable del desempeño CPPI.....	13
2.1.2 Argumento 2. Fortalecimiento de la capacidad de la cadena de suministro y competitividad. ....	17
3. Argumentos en contra u objeciones.....	21
4. Propuestas Alternativas .....	23
4.1 Inversión en conectividad avanzada y en dispositivos (5G Y IoT) .....	23
4.2 Implementación de automatización de puertas (Gate Automation) .....	24
5. Recapitulación y conclusión. ....	25
Referencias .....	27

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Tabla CPPI- Ranking de los años 2022 y 2023</i> .....	13
<b>Tabla 2.</b> <i>Casos de implementación de gemelos digitales en puertos</i> .....	14
<b>Tabla 3.</b> <i>Evolución en el posicionamiento de los hubs en el ranking CPPI (2020-2023) como el resultado de la transformación digital</i> .....	20
<b>Tabla 4.</b> <i>Comparación de indicadores y su alcance</i> .....	22

**Lista de figuras**

**Figura 1.** *Diagrama de flujo base operativa de PCS* .....18

**Figura 2.** *Diagrama del gemelo digital en puerto.* .....19

### **Resumen**

El presente trabajo analiza como la falta de madures digital en los hubs portuarios brasileños Santos, Paranagua y Rio de Janeiro afecta la eficiencia y competitividad en el indicador de desempeño de contenedores (CPPI). Por medio de una comparación entre puertos que han implementado modelos de transformación digital como los modelos de Gemelo Digital y el sistema de comunidad portuaria (PCS), se encontró que estaos modelos permiten la optimización de operaciones portuarias, reducir la congestión y mejorar los tiempos de espera, por lo que se propone la implementación de estas dos tecnologías como una estrategia clave para fortalecer productividad y competitividad en los Hubs portuarios brasileños.

**Palabras clave:** transformación digital, gemelo digital, sistema de comunidad portuaria, Hubs de Brasil, competitividad

### **Abstract**

This study analyzes how the lack of digital maturity in Brazilian port hubs Santos, Paranaguá, and Rio de Janeiro affects efficiency and competitiveness in the Container Port Performance Index (CPPI). Through a comparison with ports that have implemented digital transformation models such as the Digital Twin and the Port Community System (PCS), it was found that these technologies enable the optimization of port operations, reduce congestion, and improve waiting times. Therefore, the implementation of these two models is proposed as a key strategy to strengthen productivity and competitiveness in Brazilian port hubs.

**Keywords:** digital transformation, digital twin, port community system, Brazilian hubs, competitiveness

## Glosario

*Benchmarking*: proceso de comparación sistemática del desempeño de una organización frente a los líderes del sector, con el fin de identificar buenas prácticas y oportunidades de mejora.

*Congestión Portuaria*: acumulación de buques o contenedores en las instalaciones portuarias debido a demoras operativas, falta de coordinación o limitaciones tecnológicas, lo que afecta la eficiencia logística.

*CPPI (Container Port Performance Index)*: índice de Desempeño de Puertos de Contenedores. Indicador elaborado por el Banco Mundial y S&P Global Market Intelligence que mide la eficiencia de los puertos en función del tiempo total que los buques permanecen en ellos.

*Dwell Time*: métrica que mide el tiempo que un contenedor permanece en la terminal antes de ser retirado o embarcado. Es un indicador del desempeño en el lado terrestre de la operación portuaria.

*Eficiencia logística*: capacidad de un sistema logístico para realizar operaciones de transporte, almacenamiento y distribución de manera rápida, económica y coordinada.

*Digital Twin (Gemelo Digital)*: representación virtual dinámica de un proceso, sistema o infraestructura física. En los puertos, permite simular y monitorear operaciones en tiempo real para mejorar la eficiencia y reducir la congestión.

*Hubs portuarios*: puertos estratégicos que concentran un alto volumen de operaciones logísticas, sirviendo como centros de conexión para el comercio marítimo internacional.

*IoT (Internet of Things)*: tecnología que conecta dispositivos físicos a internet, permitiendo recopilar y compartir datos en tiempo real para optimizar procesos.

*Madurez digital:* nivel de desarrollo tecnológico alcanzado por una organización o sistema, que refleja su capacidad para integrar herramientas digitales en sus procesos operativos y de gestión.

*PCS (Sistema de Comunidad Portuaria):* plataforma digital que integra a todos los actores del entorno portuario (aduanas, navieras, terminales, transportistas, etc.) para facilitar el intercambio de información y optimizar procesos logísticos.

*Transformación Digital:* proceso mediante el cual una organización incorpora tecnologías digitales avanzadas para mejorar la eficiencia, la productividad y la toma de decisiones.

## **1. Análisis de Modelos para la Integración Digital en Hubs brasileños: Impacto de la Madurez Tecnológica en el Desempeño Logístico**

### **1.1 Tema: explicación del tema y justificación de su escogencia.**

El tema de investigación se basa a la evaluación de transformación en los hubs portuarios brasileños mencionados durante las palestras de la misión académica de Brasil, que son el puerto Santos, Paranaguá y Río de Janeiro. El tema se origina a partir de diversos elementos presenciados en la investigación de información y de las exposiciones realizadas, como la del profesor Seeling de la Universidad PUC y de algunos trabajadores del Puerto Río de Janeiro quienes nos acompañaron durante el recorrido del puerto. Estas personas mencionaron aspectos clave para la selección del tema a trabajar, como la implementación de métodos digitales de forma aislada no ha sido suficiente para alcanzar en su totalidad la madurez digital que asegure tener una eficiencia logística a lo que limita su desempeño en el ámbito global (BID invest, 2023).

Este análisis se basa en la ineficiencia operativa que sigue persistiendo y que afecta la competitividad de Brasil a pesar de los avances tecnológicos parciales que han implementado (OCDE,2021). Aparte de la información de informe de la OCDE también se evidenció esta ineficiencia durante la visita al puerto Río de Janeiro donde la observación directa y la ventaja de realizar preguntas directamente se reveló por parte de un trabajador del puerto, que tiene un desequilibrio entre infraestructura física y la coordinación digital de los procesos logísticos esta misma situación también lo menciona para los puertos de Santos y Paranaguá (Puerto Río de Janeiro, 2025).

## **1.2 Problema: exposición y explicación del problema.**

El problema radica en la baja competitividad operativa en los Hubs brasileños de Santos, Paranaguá y Río de Janeiro, que son puertos importantes para el flujo en comercio exterior (Puerto Rio de Janeiro, 2025). Aunque estos Hubs sean importantes estratégicamente, estos puertos presentan ineficiencia operacional, lo que hace que tenga implicaciones a nivel global (Asían Worldwide Logistics, 2025). Considerando que el 1.5% del comercio mundial pasa por Brasil (Seeling, 2025) por lo que aumenta el impacto de la ineficiencia en las cadenas de suministro internacionales; y esto para Colombia llega ser afectado directamente como socio comercial en el comercio bilateral (Melyak Internacional, 2024). Por la congestión portuaria brasileña, para Colombia se genera incremento en costos logísticos y tiempos de tránsito, por lo que genera retraso en la importación de insumos clave y reduce la competitividad de las exportaciones del país colombiano.

Las consecuencias de esta inmadurez digital son relevantes porque, según el informe de Beacon en el 2024, reveló que el puerto de Santos fue registrado como uno de los aumentos de tiempo de estadía en el puerto como el más alto de todo el informe con 8 días y 20.3 horas, siendo representado como un incremento del 146% (Sunrise Cargo, 2025). Así mismo esta situación se le traduce que hay demoras en procesos, hay congestión portuaria y como consecuencia, grandes pérdidas económicas, la consultora Bain & Company menciona que hubo una pérdida de \$2.300 millones de dólares en el 2023 debido a la demora de procesos manuales (Bain & Company, 2024), que se evidencio también en la visita portuaria la conservación de varios procesos a manera manual y no digital, por lo que es un problema para la competitividad y afecta la capacidad de las cadenas de suministro.

Esta problemática se valida y cuantifica con la baja puntuación obtenida por los hubs Portuarios (Santos, Paranagua y Rio de Janeiro) en el índice de desempeño de puertos de contenedores (CPPI), desarrollado por las entidades del Banco Mundial y S&P Global; este Índice mide el tiempo total de permanencia de los buques en el puerto por lo que funciona como un benchmark global en cuestiones de eficiencia según el Banco Mundial, señala que la inversión de nuevas tecnologías para la transformación digital son oportunidades de mejora para el puntaje del CPPI (Banco Mundial, 2023), a lo que esto demuestra que la transformación digital de Brasil no ha llegado a la madurez y que su adaptación a nuevas tecnologías o modelos es de forma parcial.

### **1.3 Hipótesis**

La falta de madurez en la transformación digital en los hubs portuarios de Santos, Paranaguá y Río de Janeiro ubicados en Brasil, ha conllevado a la baja productividad y a la falta de eficiencia portuaria. Esto es evidente en la baja puntuación obtenida en el índice de desempeño de puertos de contenedores (CPPI). Por lo tanto, que haya avance hacia la madurez digital permitirá la mejora en la productividad de estos hubs ya mencionados, lo cual se evidenciará en el progreso y mejora hacia un buen puntaje en el indicador CPPI. También permitirá la optimización en tiempos de espera, de igual forma minimizar la congestión portuaria y reforzará la cadena de suministro para que los hubs de Brasil logren ser competitivos y no afecten el comercio bilateral con Colombia.

#### **1.4 Plan de trabajo: exposición de la metodología a trabajar y la manera cómo va a desarrollar el ensayo en cada una de sus secciones.**

El desarrollo del ensayo se estructuró en un periodo de cinco semanas, organizadas de manera progresiva para garantizar la recolección, análisis y redacción del contenido.

- *Semana 1 (12 al 19 de octubre):* durante esta semana se realizó el viaje a Brasil, donde se llevó a cabo la observación directa en los puertos de Santos, Paranaguá y Río de Janeiro. En esta etapa se recopiló información primaria relacionada con el nivel de digitalización y la eficiencia operativa de los hubs portuarios.
- *Semana 2 (20 al 26 de octubre):* se desarrolló la búsqueda y selección de información secundaria proveniente de fuentes académicas, gubernamentales y organizacionales sobre madurez digital, desempeño portuario y transformación tecnológica.
- *Semana 3 (27 de octubre al 2 de noviembre):* se procedió a la sistematización y análisis inicial de la información recolectada.
- *Semana 4 (3 al 9 de noviembre):* en esta etapa se efectuó la el miércoles 5 de noviembre se realizó la primera reunión con el tutor, donde se revisó el enfoque metodológico y se ajustó la estructura general del ensayo. en la cual se discutieron observaciones y sugerencias sobre los argumentos, tablas comparativas y referencias empleadas. Se realizaron las correcciones pertinentes para fortalecer el marco analítico.
- *Semana 5 (10 al 16 de noviembre):* finalmente en esta etapa se efectuó la segunda reunión con el tutor el lunes 10 de noviembre, se consolidó la redacción del documento, integrando las correcciones del tutor, afinando la coherencia entre los apartados y revisando aspectos formales como las citas, redacción y formato, culminando con la entrega final del ensayo.

## 2. Argumentos a favor de la hipótesis

### 2.1 Argumento 1. La reversión en la congestión y progreso variable del desempeño CPPI

(Razón 1.1): El índice de desempeño de puertos de contenedores (CPPI) es una medida económica global publicada de forma anual por el banco mundial y S&P Global Market Intelligence. Su propósito es ofrecer una evaluación comparativa y de forma estandarizada del desempeño, eficiencia y calidad de servicio en puertos a nivel mundial (Banco Mundial ,2023).

Aunque el CPPI mide principalmente la eficiencia operativa reflejada en el tiempo total de espera de los buques en los puertos, los resultados de este índice funcionan también como evidencia indirecta para mirar el nivel de madurez digital en los puertos (S&P Global, 2023). Las calificaciones más bajas de los puertos brasileños frente a los demás puntajes de los países de singapur, Alemania, España y Colombia, se ve la poca presencia en procesos menos optimizados a lo que mayormente se asocia a una baja digitalización.

La comparación entre diferentes puertos (Singapore, Cartagena, Barcelona y Bremen) han implementado modelos avanzados en transformación digital, como el gemelo digital o el sistema de comunidad portuaria (PCS) se evidencian mejoras significativas en cuanto a eficiencia operativa y minimización de congestión portuaria (Neugebauer, 2024). Este resultado se contrasta con la situación de los hubs de Brasil, donde aún no se observa una madurez digital suficiente (CEPAL, 2023).

**Tabla 1.** *Tabla CPPI- Ranking de los años 2022 y 2023*

<b>Puerto</b>	<b>País</b>	<b>Año 2022</b>	<b>Año 2023</b>	<b>Variación</b>
<b>Singapore</b>	Singapur	18	17	+1

<b>Cartagena</b>	Colombia	5	3	+2
<b>Barcelona</b>	España	34	31	+3
<b>Bremen</b>	Alemania	60	57	+3
<b>Santos</b>	Brasil	114	202	-88
<b>Paranaguá</b>	Brasil	72	103	-31
<b>Rio de Janeiro</b>	Brasil	67	68	-1

*Nota:* Esta tabla muestra el ranking de posición que ha tenido ciertos países en el indicador de desempeño de puertos de contenedores para poder realizar la comparación entre ellos.

\*Adaptado de Banco mundial y S&P Global, 2022,2023)

Al realizar la comparación de ambos años de los países ya mencionados junto con los puertos de Brasil, se evidencia que los puertos que implementan una madurez digital sistemática en gemelo digital como Alemania, Singapur y España y en el sistema de comunidad portuaria como el país de Colombia en su puerto de Cartagena; presentan mejoras en sus posiciones en el ranking CPPI, lo que demuestra que los modelos de digitalización implementados en cada uno de esos países tuvieron un impacto directo en eficiencia de sus operaciones portuarias. (Banco Mundial, 2023)

Al contrario, en los puertos de Brasil se observa una caída significativa en el año 2023, llegando a ver que sus hubs portuarios aun carecen de transformación digital madura que ayude a disminuir la congestión y mejorar sus indicadores.

**Tabla 2.** *Casos de implementación de gemelos digitales en puertos*

<b>Puerto</b>	<b>Parte del Puerto Digitalizada</b>	<b>Descripción</b>	<b>Mejoras en Tiempo y Congestión</b>
<b>Singapur (Singapur)</b>	Terminal de contenedores	Gemelo digital completo replica los procesos de la terminal, permitiendo el monitoreo y	Optimiza la llegada y salida de buques, coordina grúas y camiones, reduciendo espera y congestión portuaria

		simulación en tiempo real	
<b>Bremen (Alemania)</b>	Terminal de acero	Gemelo digital centrado en el posicionamiento de cargas y en la reserva automática en el sistema operativo del puerto	Ayuda en agilizar operaciones internas a la vez reduce retrasos por errores manuales o falta de coordinación
<b>Barcelona (España)</b>	Infraestructura portuaria (Puentes, calles, tráfico, terminales)	Plataforma experimental que simula la infraestructura y también el flujo de tráfico portuario para la planeación de movilidad	Permite Evitar congestiones viales, mejorando la circulación de camiones y el acceso a los terminales de carga

*Nota:* La tabla explica como la implementación de es modelo que es gemelo digital ha permitido en la mejora de la eficiencia operativa, reduciendo los tiempos de espera y en disminuir a en la congestión portuaria llegando a ser positivo.

\*Adaptado del estudio realizado por Neugebauer, Heling y Vob en el 2024.

El gemelo digital se presenta como un estándar operativo, ya que este modelo se trata de una réplica virtual dinámica del ecosistema portuario, su propósito principal es en implementar en la planeación predictiva (Hapag-Lloyd, 2025). Este modelo usa el internet de las cosas (IoT) para obtener datos en tiempo real con mayor precisión (PierNext, 2024), logrando que los operadores tomen decisiones en base a las simulaciones de escenarios y no de reacciones ante incidentes.

Los puertos de Singapur, Bremen y Barcelona han logrado la mejora en congestión, también han logrado mejorar la optimización en rutas y planeación de llegadas de naves, logrando minimizar los tiempos muertos y disminuir congestiones logísticas gracias a esta tecnología (Neugebauer, 2024).

Por otro lado, el sistema de comunidad portuaria implementado por el puerto de Cartagena, Colombia, se le conoce como SPRCOnline, esta plataforma digital del grupo puerto de Cartagena permite digitalizar tramites portuarios, aduaneros y logísticos, conectando a exportadores,

importadores, agencias de aduana y entidades gubernamentales, este sistema ofrece información en tiempo real acerca de inventario y movimientos en las operaciones, sin tener que ir de forma presencial al puerto, el sistema está disponible 24 horas, por lo que elimina procesos manuales a la vez han reducido tiempos de espera y sobrecostos, (Grupo Puerto de Cartagena, 2025) lo que se refleja positivamente en la mejora del desempeño del puerto de Cartagena en el CPPI (Banco mundial, 2023).

La evidencia demuestra que la integración de modelos digitales como gemelo digital y sistema de comunidad portuaria (PCS) contribuye a la mejora de la eficiencia operativa, disminuir la congestión portuaria y reducir tiempos de espera por consiguiente estos modelos representan opciones viables para que los hubs de Brasil logren una madurez digital y así mejorar sus posiciones en el CPPI y fortalecer su competitividad.

*(Razón 1.2):* La congestión portuaria genera incrementos en costos logísticos, debido a la demora, ineficiencia en coordinación operativa y errores causados por procesos manuales (OMA,2022), lo cual esto afecta directamente a la competitividad y operaciones comerciales internacionales (AsiamWL,2024). Avanzar hacia una madurez digital en los hubs portuarios de Brasil mediante modelos de implementación en modelos digitales como el gemelo digital y sistema de comunidad portuaria (PCS) permite atacar los factores que generan sobrecostos.

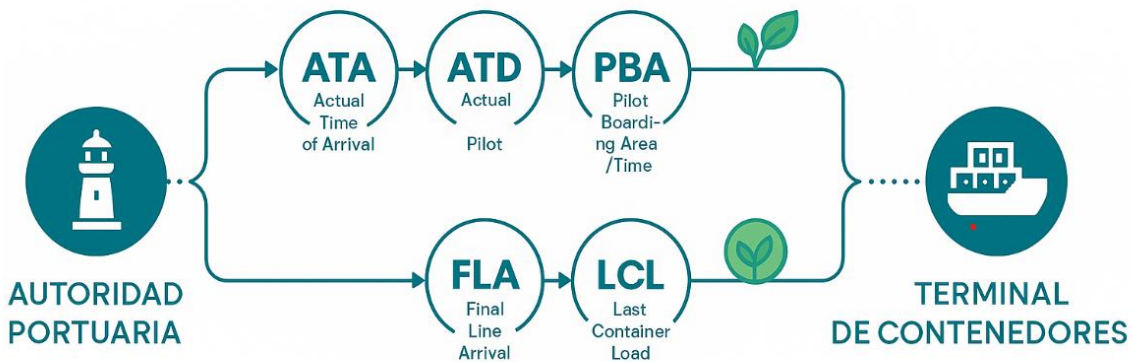
Con el gemelo digital, tiene la capacidad de monitorear operaciones en tiempo real permite predecir fallos operativos, anticipar congestiones (Neugebauer, 2024). Esto permite reducir tiempos muertos inesperados también optimizar el uso de la infraestructura lo que significa que haya ahorro de tiempo y recursos para los puertos quienes implementan este modelo (UDIT,2023).

A su vez, el sistema de comunidad portuaria (PCS) opera como una plataforma multifacética en tiempo real, que integra a diferentes actores de la cadena logística. Su flexibilidad,

rapidez y precisión logra disminuir la dependencia de procesos tradicionales y documentación manual (Grupo puerto de Cartagena, 2025) que son otros aspectos que afectan la eficiencia en el puerto como también lo menciona el profesor marcelo seeling durante su exposición sobre hubs portuarios y es que estos mejoran la gestión de manifiestos y reducen los tiempos de espera en tramites portuarios. Por lo tanto, el PCS incrementa la eficiencia logrando disminuir costos operativos y fortaleciendo la competitividad de los puertos que emplean este sistema (Customs City, 2024).

### ***2.1.2 Argumento 2. Fortalecimiento de la capacidad de la cadena de suministro y competitividad.***

*(Razón 2.1):* Los modelos PCS y gemelos digitales actúan como facilitadores del volumen de la demanda del E-commerce. Esto exige a la logística tener alta velocidad y a la vez trazabilidad, por eso los gemelos digitales y el sistema de comunidad portuaria ayudan a reforzar la capacidad que tiene la cadena de suministro para manejar grandes volúmenes de mercancías simultáneamente, lo cual es un aspecto importante para la competitividad económica (CEPAL,2024).

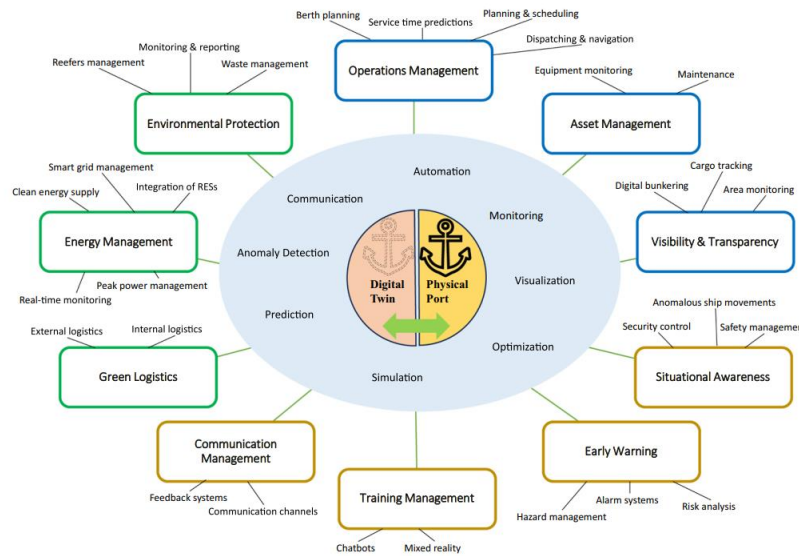
**Figura 1.** Diagrama de flujo base operativa de PCS

*Nota:* Este diagrama muestra el proceso secuencial de fases para la llegada de naves y carga de contenedores, este es un flujo de información colaborativa en la cual es la base operativa del sistema de comunidad portuaria (PCS).

\*Tomado de Prodevelop (2024).

Como se observa en la gráfica es el flujo del proceso por fases del modelo PCS que conecta a modo de plataforma electrónica a diversos sistemas operacionales que forman parte de la comunidad portuaria que tiene este sistema. Esto hace que facilite el intercambio de información de manera fluida y digitalizada, por lo que optimiza los procesos logísticos y aduaneros por medio de un único envío de datos (IPCSA.2025), logrando que sea más dinámico, ahorrando demoras operacionales y reducir la congestión llegando a ser competitivo.

**Figura 2.** Diagrama del gemelo digital en puerto.



*Nota:* Diagrama que busca ilustrar el sistema portuario físico integrado con su gemelo digital creando un flujo bidireccional entre ambos permitiendo que haya monitoreo, simulación y optimización en el puerto.

\*Tomado de una revista publicada por Springer Nature (2024).

El gemelo digital permite tener una simulación y predicción de escenarios operativos, ya que replica a manera digital el puerto físico, con el fin de optimizar la eficiencia y mitigar costos inesperados o retrasos y disminuir las posibles congestiones, por lo que se ahorra tiempo de espera entre cada fase, ya que este modelo está conectado mediante un enlace de datos bidireccional, cuyo objetivo es visualizar, optimizar y analizar los sistemas de producción y de logística (Herlyn, 2023)

Con la combinación de ambos modelos se elaboraría un ecosistema logístico altamente optimizado, inteligente y adaptable, según el Dr Jean-Paul Rodrigue (2022), la combinación de ambos modelos se complementa perfectamente y que llega a crear una buena interacción entre ambos para lograr la madurez digital que necesitan los hubs portuarios de Brasil.

(Razón2.2): El posicionamiento estratégico como un hub altamente optimizado por su madurez digital con los modelos de sistema de comunidad portuaria y gemelo digital, reduce el riesgo de desvíos de carga a otros hubs que son mas eficientes, tomado como ejemplo al puerto de

Cartagena que trabaja con PCS, por lo que sirve como un modelo de referencia para Brasil ya que Cartagena lidera la eficiencia regional por medio de estrategias de digitalización avanzada (Grupo Puerto de Cartagena, 2024) junto con el modelo de gemelo digital empleado en puertos como Singapur, Barcelona y Bremen donde se evidencia su progreso gracias a la aplicación del modelo de gemelo digital, obteniendo buenos puestos en el ranking del indicador CPPI (Banco Mundial 2023). Así que la implementación conjunta de ambos modelos asegura que los hubs portuarios de Brasil sean vistos como confiables y optimizados. (Port Economics, 2023)

**Tabla 3.** *Evolución en el posicionamiento de los hubs en el ranking CPPI (2020-2023) como el resultado de la transformación digital*

<b>Puerto/ País</b>	<b>(Posición CPPI) 2020</b>	<b>(Posición CPPI) 2021</b>	<b>(Posición CPPI) 2022</b>	<b>(Posición CPPI) 2023</b>
<b>Cartagena (Colombia)</b>	34	12	5	3
<b>Singapur (Singapur)</b>	31	22	18	17
<b>Barcelona (España)</b>	46	34	34	31
<b>Bremen  (Alemania)</b>	73	62	60	57
<b>Santos (Brasil)</b>	70	147	114	202
<b>Paranagua (Brasil)</b>	57	61	72	103
<b>Rio de Janeiro (Brasil)</b>	63	199	67	68

*Nota:* La presente tabla muestra un comparativo entre puertos de manera anual (2020-2023) en donde los puertos de Cartagena y Singapur muestran una alta transformación digital, Barcelona y Bremen que estos son avances moderados, esto se hace un contraste ya que como se evidencia que los puertos brasileños (Santos, Paranagua y Rio de Janeiro) con el paso de los años se mantiene en posiciones bajas e inestables, lo que se ve el reflejo de una menor madurez digital comparado con los demás puertos en la tabla.

\*Adaptado de informes publicados por el Banco Mundial de los años 2020 al 2023.

### 3. Argumentos en contra u objeciones

La solución de transformación digital no es el factor principal para aumentar la competitividad en Hubs portuarios así mismo el indicador CPPI recibe críticas argumentando que no es la única métrica que hay que tener en cuenta.

Los expertos como Ascencio y Barro (2017) ambos sostienen que la transformación digital sistemática considera que es una solución secundaria y a la vez cuestionable; ya que estos autores afirman que el problema radica en la gobernanza y cultura organizacional, ellos señalan que la fragmentación institucional y resistencia a las transparencias son obstáculos que la tecnología pasa a un segundo plano ya que esta por si sola no puede superar. Por otro punto la empresa Boston Consulting Group (2022) sostiene que existen diversas mejoras que no necesariamente sean de transformación digital como la expansión del calado, mejoras ferroviarias o simplificación regulatoria por lo que estas opciones llegan a ser menos costosas a comparación de los modelos PCS y Gemelo Digital. Otro punto que cuestionan es el indicador de desempeño de puertos de contenedores como Notteboom en el 2020 este argumenta el CPPI es una medida incompleta, ya que lo considera como un índice compuesto, menciona que existe otro indicador más directo como el Dwell Time el cual mide la gestión interna del patio y fluidez de la cadena terrestre siendo un índice más específico para operaciones en tierra (Notteboom,2020)

#### b. Razones por las que no se aceptan las objeciones

Respecto al argumento sobre la gobernanza, la madurez digital en si es un marco con estructura que obliga a la participación conjunta ya que los sistemas propuestos que son el PCS y el gemelo digital son modelos de gobernanza digital porque ambos establecen diferentes protocolos y datos estandarizados lo que hace que sea transparente a la hora de compartir datos, esto

actúa como un puente de confianza y a la vez requisito operativo no negociable (Vieria, 2019). Siguiendo con el tema de las posibles soluciones que en este caso expusieron alternativas físicas como las expansiones de calado o las ampliaciones ferroviarias puede que sean necesarias para tener más capacidad son inversiones costosas y limitadas a largo plazo que después de un tiempo se encontrara más límites operativos (OMI, 2020). Así que sin estos modelos de gemelo digital y PCS, su gestión en las soluciones físicas ya mencionadas con anterioridad sigue siendo reactiva y manual lo que llega a ser nuevos y costosos cuellos de botella en la infraestructura. (McKinsey, 2021). En cambio, con la digitalización con implementación de PCS y gemelo digital actúan como un multiplicador de eficiencia, según el banco mundial la transformación digital permite planificar en predicciones, optimizar flujo de carga en tiempo real y deja maximizar el uso de la infraestructura actual (Banco Mundial, 2022)

Por último, la métrica seleccionada que es el Indicador de desempeño de puertos de contenedores es cuestionada por el autor (Notteboom, 2020) menciona que es incompleta esta métrica ya que solo se enfoca en el tiempo de escala del buque y no en la eficiencia en tierra y a la vez dice que no es un indicador directo como el Dwell Time; esta cuestión de subestimación de la complejidad del CPPI se debe a las diferencias fundamentales en el que están enfocados en cada indicador.

**Tabla 4.** Comparación de indicadores y su alcance

<b>Métrica</b>	<b>Enfoque principal</b>	<b>¿Qué mide?</b>	<b>Crítica</b>
<b>CPPI</b>	Lado marítimo	Tiempo total del buque en puerto (llegada a salida del puerto)	Incompleta, ignora el lado terrestre
<b>Dwell Time</b>	Lado terrestre	Tiempo del contenedor en la	No mide la velocidad de tiempo en buques, ni procesos

---

terminal  
(almacenamiento)

---

*Nota:* La tabla muestra ambas métricas y sus enfoques para hacer su comparación y evaluar el desempeño portuario

\*Adaptada del Banco mundial y Port Economics.

Como se evidencia en la tabla, el CPPI se considera un indicador integral y relevante para la toma de decisiones, ya que abarca todas las operaciones marítimas de atraque, carga, descarga y salida por lo que refleja de forma mas completa la eficiencia global del puerto, adicional a esto este indicador de CPPI apoya en la toma de decisiones de inversión ofrece ayuda a inversores y políticos a tener una base de datos consolidada que les permite identificar los puertos mas eficientes para guiarlos a la asignación de recursos hacia proyectos para una mejor rentabilidad (WordPress, 2024). También gracias a este indicador fomenta la colaboración y desarrollo de políticas conjuntas al proporcionar un marco estándar de indicadores facilitando el dialogo entre colaboradores. También el CPPI impulsa la transformación digital al promover la optimización de métricas clave como la reducción del tiempo de permanencia de buques, consolidándose como el indicador central en cuestiones de eficiencia y competitividad respaldado por el Banco mundial y S&P Global Markets (Banco Mundial, 2023)

## **4. Propuestas Alternativas**

### **4.1 Inversión en conectividad avanzada y en dispositivos (5G Y IoT)**

Esta acción prioriza la inversión de forma directa en infraestructura de conectividad como redes privadas 5G de banda ancha y también en tener dispositivos IoT (Internet de las cosas) para llegar a automatizar el terminal, esta propuesta tiene como objetivo priorizar el rendimiento operativo de forma localizada en equipos de grúas y RTG habilitando operación remota y

automatización parcial para reducir la dependencia de la mano de obra humana para incrementar la velocidad de manipulación de contenedores. (Vtts, 2020) menciona el rol de las tecnologías de comunicación como lo es 5G y sensores Iot como habilitadores tecnológicos en puertos inteligentes. Esta propuesta sostiene que una capa de conectividad avanzada es el cuello de botella que se debe resolver la mejora de operaciones internas, pero tiene limitaciones según Ericsson considera que la red 5G es solo una autopista de datos porque si los modelos PCS y gemelo digital no están implementados en el puerto, lo que hará esta red es solo mover información rápida dentro de un terminal específico por lo que no llegaría a impactar al indicador CPPI, así que la mejora se limita al rendimiento interno del terminal (Ericsson, 2022)

#### **4.2 Implementación de automatización de puertas (Gate Automation)**

Esta implementación consiste en uso de tecnologías de reconocimiento óptico de caracteres para automatizar los procesos de verificación y controlar los puntos de entrada y salida de camiones de forma automática, su objetivo es eliminar los tiempos muertos que causa la documentación y operación de transporte (Un trade and develop,2022). También destacan que la automatización de procesos de puerta es una intervención efectiva ya que reduce el tiempo de permanencia o los tiempos muertos de los camiones y mejora la productividad de operaciones terrestres (Hartmann, 2020).

Aunque logre eliminar los errores de documentación de salida y entrada al puerto; no resuelve la congestión ni la coordinación de otros procesos logísticos dentro del puerto porque automatiza únicamente el acceso, pero no se sincroniza la asignación de patios, turnos de carga, turnos de carga ni planificación global del flujo de contenedores además la eficiencia de la puerta

en automatización se anula si no hay un sistema PCS que coordine a todos los actores portuarios (UNCTAD, 2023).

Estas alternativas no se consideraron adecuadas ya que son incompletas porque la eficiencia ganada de manera local termina anulándose si no hay integración digital sistemática a través de modelos de Gemelo Digital y Sistema de comunidad portuaria (PCS) ya que ellos permiten que tengan coordinación de todos los actores portuarios y visibilidad completa de la cadena lo cual tendría un impacto limitado que no sería de mucha ayuda para los hubs brasileños.

### **5. Recapitulación y conclusión.**

Durante el desarrollo de investigación y sinterización de información, se evidencio que los hubs brasileños (Santos, Paranagua y Rio de Janeiro) presentan limitaciones significativas en su proceso de transformación digital, lo que impide alcanzar su madurez digital adecuada, a esta situación se le traduce como una baja productividad, mayores tiempos de espera, ineficiencias operativas y congestión portuaria, los cuales son factores que afecta la competitividad del país y su posición el índice de desempeño de puertos de contenedores (CPPI).

A diferencia de los puertos de Singapur, Bremen y Barcelona con su implementación de gemelo digital y el puerto de Cartagena en Colombia con el modelo de sistema de comunidad portuaria (PCS), han demostrado mejoras comprobables en aspectos de eficiencia y tiempos de operación, trazabilidad y coordinación logística. Estas experiencias se evidencian que la digitalización es un factor importante para el rendimiento portuario, en contraste a los hubs portuarios brasileños aun muestran un estancamiento tecnológico que continúa afectando su desempeño logístico.

Por lo tanto, se confirma que la falta de madurez digital es la causa principal del bajo rendimiento en los hubs portuarios brasileños. Avanzar hacia una integración digital sistemática mediante modelos gemelo digital y PCS, representa el camino efectivo para optimizar procesos, reducir costos, minimizar congestión portuaria y a la vez mejorar posición del país brasileño en el CPPI. La implementación de estas tecnologías no solo potenciaría la eficiencia en operaciones portuarias y fortalecería la cadena de suministro, sino que también impulsara a que el país se consolide como hubs portuarios competitivos a nivel internacional.

Además, este avance tendría un impacto significativo en el comercio bilateral de Colombia y Brasil. Si Brasil incorpora de manera efectiva estos modelos digitales y alcanza a consolidar la madurez digital tecnológica, se evitará retrasos, sobrecostos logísticos y tensiones operativas que actualmente afecta el flujo comercial entre los dos países. Lo que significa, que la digitalización portuaria brasileña no solo optimizaría su competitividad interna, sino que también garantiza que las operaciones portuarias bilaterales con Colombia se mantengan de manera estable, fluida y sobre todo competitivas.

Finalmente, para el contexto colombiano, los hallazgos del estudio resaltan la importancia de continuar el fortalecimiento de la digitalización portuaria nacional, ya que con la experiencia del puerto de Cartagena demuestra que estos modelos generan impacto positivo y transferibles, lo que permite que Colombia siga mantenido liderazgo regional y reducir su vulnerabilidad ante ineficiencias de socios comerciales como Brasil.

## Referencias

- Asian Worldwide Logistics. (2024). Problemas de puertos brasileños impactan el comercio internacional. <https://asianwl.com/problemas-de-puertos-brasilenos-impactan-el-comercio/>
- Banco Mundial. (2023). Container Port Performance Index (CPPI). <https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/ab844ded-37da-4ac3-879d-24726434c37b/download>
- Banco Mundial. (2024). How resilient ports can mitigate global supply chain disruptions. <https://nl4worldbank.org/2024/06/20/how-resilient-ports-can-mitigate-global-supply-chain-disruptions/>
- CEPAL. (2023). Puertos inteligentes y sostenibles: Herramientas para la implementación de sistemas de comunidad portuaria. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f15aee63-dc86-40b4-922c-51ecc2f3f28d/content>
- CEPAL. (2024). Conferencia Regional sobre Sociedad de la Información de América Latina y el Caribe (ELAC9). [https://conferenciaelac.cepal.org/9/sites/elac9/files/s2401013\\_es.pdf](https://conferenciaelac.cepal.org/9/sites/elac9/files/s2401013_es.pdf)
- Customs City. (2024). What is a Port Community System (PCS)? <https://customscity.com/what-is-a-port-community-system-pcs/>
- Datamar News. (2024). São Paulo government to pilot port operation project with digital footprint. <https://datamarnews.com/noticias/sao-paulo-govt-to-pilot-port-operation-project-with-digital-footprint/>

Grupo Puerto de Cartagena. (2024). Estrategias de innovación en los cinco puertos más eficientes del mundo.

<https://www.puertocartagena.com/es/porticolive/actualidad/articulos/estrategias-de-innovacion-en-los-cinco-puertos-mas-eficientes-del>

Grupo Puerto de Cartagena. (2025). SPRC Online: herramienta virtual del Grupo Puerto de Cartagena. <https://www.puertocartagena.com/es/sprc-online>

Hapag-Lloyd. (2025). Digital twins in route optimization and planning. <https://www.hapag-lloyd.com/es/online-business/digital-insights-dock/insights/2025/02/digital-twins-in-route-optimization-and-planning.html>

Melyak International. (2025). Situación portuaria en Brasil genera impacto en operaciones comerciales internacionales.

<https://www.melyakinternational.com/post/situaci%C3%B3n-portuaria-en-brasil-genera-impacto-en-operaciones-comerciales-internacionales>

Mundo Marítimo. (2024). Puerto de Santos acelera su transformación digital con redes 5G, VTMS y gemelo digital. <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/puerto-de-santos-acelera-su-transformacion-digital-con-redes-5g-vmis-y-gemelo-digital>

Neugebauer, L., Heling, D., & Vob, A. (2024). Digital twin implementation in port operations for efficiency and sustainability. *Journal of Shipping and Trade*, 9(1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s13437-024-00349-2>

Paraguay Fluvial. (2024). Brasil pierde más de USD 2.300 millones al año por ineficiencias portuarias. <https://paraguayfluvial.com/brasil-pierde-mas-de-usd-2-300-millones-al-ano-por-ineficiencias-portuarias-impacto-directo-en-paraguay-y-la-region/>

PierNext. (2024a). ¿Puede un gemelo digital ayudar a los puertos a mejorar su eficiencia?

<https://piernext.portdebarcelona.cat/tecnologia/puede-un-gemelo-digital-ayudar-a-los-puertos-a-mejorar-su-eficiencia/>

PierNext. (2024b). Puertos gemelos digitales y la red IoT del Puerto de Barcelona.

<https://piernext.portdebarcelona.cat/tecnologia/puertos-gemelos-digitales/>

Prodevelop. (2024). Gestión portuaria sostenible y digitalización.

<https://www.prodevelop.es/gestion-portuaria-sostenible-digitalizacion/>

Sunrise Cargo. (2025). Puerto de Santos de Brasil: incremento del tiempo de estadía en 146 %.

<https://noticias.sunrisecargo.com/?p=12085>

Valenciaport. (2024). Vigilancia portuaria avanzada: 5G, realidad aumentada y drones autónomos.

<https://www.valenciaport.com/vigilancia-portuaria-avanzada-5g-realidad-aumentada-y-drones-autonomos/>

World Bank & S&P Global. (2023). Container Port Productivity Index.

<https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part10/port-performance/container-port-productivity-index/>