

Reporte de Fundamentación y Estado del Arte

Proyecto: Sistema Inteligente para la Optimización de Operaciones Portuarias (SIOOP)

Fecha de Generación: 23 de October de 2025

Reporte de Fundamentación para el Sistema Inteligente para la Optimización de Operaciones Portuarias (SIOOP)

Introducción

El presente reporte tiene como objetivo establecer el marco teórico y el análisis del estado del arte para el proyecto "Sistema Inteligente para la Optimización de Operaciones Portuarias (SIOOP)". Este proyecto propone el desarrollo e implementación de una plataforma de software que integra Inteligencia Artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT) para optimizar la logística y las operaciones en terminales portuarias. El SIOOP se estructura en tres pilares fundamentales: una red de sensores IoT para la recolección de datos en tiempo real, una plataforma central de Gemelo Digital para la representación y visualización de las operaciones, y un motor de optimización basado en IA para la toma de decisiones predictivas y prescriptivas. Este documento busca justificar la relevancia y la innovación del SIOOP, posicionándolo como una solución de vanguardia para los desafíos actuales de la gestión portuaria, en línea con los conceptos de "Puerto Inteligente" o "Puerto 4.0".

1. Marco Teórico

1.1. Conceptos Fundamentales

1. Gemelo Digital (Digital Twin):

Una representación virtual dinámica y en tiempo real de una entidad física, sistema o proceso. Se alimenta continuamente con datos de sensores y otras fuentes para replicar el estado, el comportamiento y las interacciones de su contraparte real. Esto permite monitorear, analizar, diagnosticar, predecir el futuro y simular escenarios "what-if" sin impactar el sistema físico.

● **Relevancia para SIOOP:** La plataforma central de SIOOP es la creación de un gemelo digital del terminal portuario. Este gemelo se actualizará en tiempo real con datos de la red de sensores IoT, consolidando información crítica como la ubicación de contenedores, el estado de las grúas y los tiempos de espera de camiones. Su importancia es reconocida para aumentar la eficiencia en procesos portuarios multifacéticos (Fuente: Arxiv, Título: Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience) y como una herramienta fundamental para monitorear, controlar y predecir la evolución de entornos complejos (Fuente: Arxiv, Título: Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution).

2. Internet de las Cosas (IoT) en Logística Portuaria:

La interconexión de objetos físicos equipados con sensores, software y otras tecnologías que les permiten recopilar y transmitir datos a través de una red. En el contexto portuario, esto se traduce en la instrumentación de activos como contenedores, grúas y vehículos con dispositivos GPS, RFID y cámaras para obtener visibilidad en tiempo real de su ubicación, estado y flujo operativo.

● **Relevancia para SIOOP:** La "Red de Sensores IoT" constituye el pilar de recolección de datos de SIOOP. Los sensores GPS y RFID en contenedores y vehículos, junto con cámaras de visión por computadora, generarán la corriente de datos en tiempo real necesaria para alimentar el gemelo digital. Esta infraestructura es indispensable para la conciencia situacional que el gemelo digital debe ofrecer, gestionando la complejidad de los datos IoT (Fuente: Arxiv, Título: Digital Twins and Blockchain for IoT Management).

3. Inteligencia Artificial (IA) para la Optimización de Operaciones:

El campo de la informática dedicado a la creación de sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, la toma de decisiones y la resolución de problemas. En logística, esto incluye algoritmos de Machine Learning para predecir eventos y sistemas de recomendación para optimizar la asignación de recursos y la planificación de tareas.

● **Relevancia para SIOOP:** El "Motor de Optimización con IA" es el componente clave de SIOOP para la toma de decisiones. Empleará algoritmos de Machine Learning para predecir tiempos de llegada/salida de buques y camiones, y un sistema de recomendación para asignar óptimamente rutas y tareas a grúas. Esto busca reducir la inactividad, mitigar cuellos de botella y disminuir el tiempo de ciclo de los contenedores, una capacidad validada por estudios que demuestran la mejora del rendimiento de patios de contenedores mediante IA predictiva (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards).

4. Optimización de Sistemas Logísticos Complejos (NP-hard Problems):

Se refiere a la clase de problemas computacionales para los cuales no se conoce un algoritmo eficiente que encuentre la solución óptima en un tiempo polinomial. Las operaciones portuarias, con sus múltiples variables interdependientes y restricciones dinámicas, a menudo caen en esta categoría. Su resolución requiere el uso de heurísticas, metaheurísticas, programación matemática o algoritmos de aproximación.

● **Relevancia para SIOOP:** La gestión de terminales de contenedores es inherente a problemas NP-hard, lo que dificulta la optimización tradicional (Fuente: Arxiv, Título: Simulation and optimization of

container terminal operations: a case study). El motor de IA de SIOOP está diseñado para abordar esta complejidad, aplicando modelos de Machine Learning y sistemas de recomendación que, aunque pueden no alcanzar el óptimo global en cada instancia, sí proporcionan soluciones altamente eficientes y adaptables en tiempo real para minimizar los tiempos de inactividad y la congestión, superando los desafíos inherentes a estos problemas.

1.2. Modelos y Metodologías Relevantes

1. Programación Lineal Entera Mixta (MILP) y Optimización Combinatoria:

La MILP es una técnica matemática robusta para la optimización de problemas donde la función objetivo y las restricciones son lineales, y algunas variables deben ser enteras. La optimización combinatoria se ocupa de encontrar un objeto óptimo de un conjunto finito de objetos. Estas metodologías son fundamentales para modelar y resolver problemas de asignación de recursos y planificación.

- **Funcionamiento y Base para SIOOP:** Se utilizan para diseñar sistemas de planificación inteligente que optimizan el rendimiento de patios de contenedores mediante la asignación recursiva de citas para camiones y el posicionamiento de contenedores (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards). En SIOOP, estas metodologías proporcionarán la base matemática para el "Motor de Optimización con IA", permitiendo formular los problemas de asignación de grúas y ruteo de vehículos dentro del puerto como modelos de optimización, buscando la mejor configuración para reducir tiempos y costos.

2. Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) basados en Big Data y Multi-Agentes:

Un DSS integra modelos analíticos, datos y conocimientos para asistir a los tomadores de decisiones en la resolución de problemas semiestructurados. Cuando se combina con Big Data y un enfoque multi-agente, permite la predicción de estados del sistema y la aplicación de políticas de control dinámicas, considerando la interacción de múltiples actores autónomos.

- **Funcionamiento y Base para SIOOP:** Estos sistemas son clave para entender, predecir y controlar interacciones logísticas y de tráfico en el ecosistema portuario, gestionando, por ejemplo, los tiempos de llegada de camiones para reducir esperas (Fuente: Arxiv, Título: A Data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals). La plataforma de Gemelo Digital de SIOOP funcionará como un DSS avanzado, integrando los datos de IoT y las recomendaciones de IA para ofrecer una interfaz que permita a los operadores tomar decisiones informadas y coordinadas, optimizando el flujo de camiones y la asignación de grúas.

3. Modelos Predictivos y Prescriptivos con Machine Learning:

Los modelos predictivos utilizan algoritmos de Machine Learning para analizar datos históricos y en tiempo real, identificando patrones y haciendo pronósticos sobre eventos futuros (ej., tiempos de llegada, niveles de congestión). Los modelos prescriptivos van un paso más allá, recomendando las mejores acciones a tomar para lograr objetivos específicos, basándose en las predicciones y las restricciones del sistema.

- **Funcionamiento y Base para SIOOP:** Estos modelos son esenciales para anticipar el tiempo esperado de llegada (ETA) de buques y camiones, la planificación dinámica de operaciones y el monitoreo de emisiones (Fuente: Arxiv, Título: Artificial Intelligence-based Smart Port Logistics Metaverse for Enhancing Productivity, Environment, and Safety in Port Logistics). El "Motor de Optimización con IA" de SIOOP empleará estos modelos para predecir la demanda y la congestión, y luego prescribir las rutas más eficientes para los vehículos y las tareas óptimas para las grúas, minimizando los tiempos de inactividad y los cuellos de botella para el ciclo de los contenedores.

4. Simulación de Sistemas y Análisis "What-If":

La simulación es una técnica que permite modelar la dinámica de un sistema complejo a lo largo del tiempo, representando sus componentes y sus interacciones. El análisis "what-if" utiliza estos modelos de simulación para evaluar el impacto de diferentes escenarios o decisiones antes de su implementación real, permitiendo una planificación y optimización de riesgos.

- **Funcionamiento y Base para SIOOP:** La simulación es una metodología probada para integrar y optimizar todas las actividades de una terminal de contenedores, logrando reducciones significativas en el tiempo de servicio de los buques (Fuente: Arxiv, Título: Simulation and optimization of container terminal operations: a case study). Los marcos de gemelos digitales para ciudades inteligentes también utilizan el análisis "what-if" para evaluar cambios (Fuente: Arxiv, Título: Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution). SIOOP utilizará el gemelo digital como una plataforma de simulación en tiempo real, permitiendo a los operadores probar las recomendaciones del motor de IA y evaluar el impacto de las decisiones operativas antes de ejecutarlas, optimizando así la asignación de recursos y la gestión de la congestión.

1.3. Justificación Científica del Enfoque del Proyecto

El enfoque propuesto por SIOOP, que integra una red de sensores IoT, una plataforma de Gemelo Digital y un motor de optimización basado en IA, se valida plenamente por la convergencia de conceptos y metodologías científicas probadas en la investigación académica contemporánea. Este camino es no solo viable, sino altamente prometedor para abordar los desafíos inherentes a la gestión portuaria.

Desde un punto de vista científico, la capacidad de la **Inteligencia Artificial** para resolver problemas de **optimización en sistemas complejos (NP-hard)** es un pilar fundamental. La literatura demuestra que los algoritmos de Machine Learning y la programación matemática (como MILP) pueden mejorar significativamente el rendimiento de los patios de contenedores, reducir la congestión y optimizar la planificación de recursos, incluso en escenarios donde la automatización física completa es limitada (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards). La IA es también un componente crítico para la predicción de tiempos de llegada y la planificación dinámica de operaciones, lo que se traduce en mejoras cuantificables en eficiencia y sostenibilidad ambiental (Fuente: Arxiv, Título: Artificial Intelligence-based Smart Port Logistics Metaverse for Enhancing Productivity, Environment, and Safety in Port Logistics).

La **recopilación de datos en tiempo real mediante el Internet de las Cosas (IoT)** es el habilitador esencial para la eficacia de la IA. Los estudios enfatizan que los sistemas de soporte a la decisión más avanzados

para la gestión de terminales portuarias dependen de la integración de grandes volúmenes de datos históricos y en tiempo real para predecir estados del sistema y aplicar políticas de control efectivas (Fuente: Arxiv, Título: A Data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals). La red de sensores de SIOOP proporcionará la información granular y actualizada que el motor de IA necesita para generar predicciones precisas y recomendaciones óptimas.

La **Plataforma de Gemelo Digital** actúa como el integrador y el cerebro visual del sistema. La investigación lo identifica como una tecnología con el potencial de aumentar sustancialmente la eficiencia en los procesos portuarios, proporcionando una conciencia situacional inigualable, capacidades analíticas de datos integrales para la toma de decisiones inteligentes y una plataforma para la colaboración multi-stakeholder (Fuente: Arxiv, Título: Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience). La experiencia en el desarrollo de Gemelos Digitales para entornos urbanos complejos, como las Smart Cities, valida su capacidad para integrar múltiples fuentes de datos en tiempo real, realizar simulaciones "what-if" y ofrecer una visión global para la toma de decisiones (Fuente: Arxiv, Título: Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution).

En resumen, la combinación sinérgica de la observación detallada en tiempo real del IoT, la representación integral y la capacidad de simulación del Gemelo Digital, y el poder predictivo y prescriptivo de la IA, proporciona una base científica robusta para SIOOP. Este enfoque es viable y prometedor porque permite a los puertos operar de manera proactiva en lugar de reactiva, optimizando los flujos de trabajo, reduciendo la congestión y mejorando la eficiencia general, lo que es esencial para alcanzar los ambiciosos objetivos cuantificables del proyecto y posicionar a los puertos colombianos como líderes en innovación portuaria.

2. Análisis del Estado del Arte

2.1. Técnicas y Enfoques Predominantes

La investigación actual en la optimización de operaciones portuarias revela una serie de técnicas y enfoques predominantes, todos ellos impulsados por la necesidad de mejorar la eficiencia y la sostenibilidad:

1. Optimización Basada en Modelos Matemáticos y Algoritmos Avanzados:

Un enfoque central es la aplicación de técnicas de optimización combinatoria y programación matemática, como la Programación Lineal Entera Mixta (MILP), para resolver problemas específicos dentro de la terminal. Estos modelos son utilizados para optimizar el rendimiento de los patios de contenedores, incluyendo el posicionamiento de estos y la gestión de citas para camiones, con el fin de reducir la congestión y mejorar los tiempos de procesamiento (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards). Además, se emplean algoritmos complejos para problemas de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (CVRPTW) en redes viales, buscando minimizar costos operativos y energéticos, incluso considerando la planificación de pelotones de camiones (Fuente: Arxiv, Título: Planning of Truck Platooning for Road-Network Capacitated Vehicle Routing Problem).

2. Modelado y Simulación de Operaciones Portuarias:

La simulación de eventos discretos es una herramienta ampliamente reconocida para analizar y optimizar el flujo de actividades dentro de una terminal. Permite integrar todas las operaciones desde la llegada del buque hasta la salida del camión, identificar cuellos de botella y evaluar el impacto de diferentes estrategias operativas. Un estudio de caso demostró una reducción del 51% en el tiempo de servicio de los buques mediante el uso de un modelo de simulación integral (Fuente: Arxiv, Título: Simulation and optimization of container terminal operations: a case study).

3. Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) y Gestión de Franjas Horarias basados en Datos:

Existe una fuerte tendencia hacia el desarrollo de DSS que aprovechan el "Big Data" y los datos en tiempo real para predecir estados del sistema y aplicar políticas de control. Estos sistemas son cruciales para la gestión inteligente de las franjas horarias de llegada y salida de camiones en las puertas de la terminal, buscando reducir los tiempos de espera y optimizar los flujos logísticos y de tráfico para todos los stakeholders (Fuente: Arxiv, Título: A Data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals).

4. Implementación de Gemelos Digitales para "Puertos Inteligentes":

El concepto de Gemelo Digital está emergiendo como una solución transformadora para los puertos, con el objetivo de crear una representación virtual que proporciona conciencia situacional, capacidades analíticas de datos para la toma de decisiones inteligentes y una plataforma para la gobernanza multi-stakeholder. La experiencia de las "Smart Cities" y las cadenas de suministro sirve de inspiración para la aplicación de esta tecnología en el complejo entorno portuario (Fuente: Arxiv, Título: Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience; Fuente: Arxiv, Título: Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution).

5. Marcos Integrales de IA y IoT para la Logística Portuaria (ej., "Metaverso" Portuario):

Enfoques más recientes exploran la creación de marcos holísticos que combinan IA, IoT, Big Data e incluso conceptos de "metaverso" para facilitar la colaboración, el intercambio de datos y la toma de decisiones entre diversos stakeholders. Estos marcos incluyen módulos para la predicción del tiempo estimado de llegada (ETA), la planificación dinámica de operaciones y el monitoreo ambiental, logrando mejoras significativas en la puntualidad y beneficios económicos y ambientales (Fuente: Arxiv, Título: Artificial Intelligence-based Smart Port Logistics Metaverse for Enhancing Productivity, Environment, y Safety in Port Logistics).

2.2. Limitaciones Identificadas y Brechas en la Investigación

A pesar de los avances significativos, el estado del arte en la optimización de operaciones portuarias presenta varias limitaciones y brechas que el proyecto SIOOP busca abordar:

1. Falta de Integración Holística y Visión Unificada:

Muchos estudios y soluciones se centran en la optimización de procesos aislados, como la gestión de patios de contenedores o la programación de citas de camiones (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards; Fuente: Arxiv, Título: A Data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals). Existe una brecha en la capacidad de integrar todas las actividades y flujos operativos de una terminal portuaria en una plataforma unificada que

permita una optimización holística y coordinada de todo el ecosistema portuario en tiempo real.

2. Inmadurez en la Implementación de Gemelos Digitales para Puertos:

Aunque el potencial del Gemelo Digital es ampliamente reconocido, su aplicación práctica en sistemas complejos como los puertos se encuentra en una etapa incipiente. La investigación señala una falta de comprensión interdominio sobre qué constituye un Gemelo Digital portuario y cómo implementarlo eficazmente para explotar todo su potencial (Fuente: Arxiv, Título: Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience). Esto se traduce en implementaciones que a menudo carecen de la granularidad de datos, las capacidades de simulación o la interoperabilidad necesarias.

3. Desafíos en la Gestión Segura y Escalable de Datos IoT en Tiempo Real:

La efectividad de las soluciones basadas en IoT y Gemelos Digitales depende de la capacidad de recopilar, procesar, integrar y distribuir grandes volúmenes de datos en tiempo real de manera segura y eficiente. La gestión de esta complejidad, garantizando la seguridad, la privacidad y el acceso multitenant a los datos de IoT, sigue siendo un desafío técnico considerable (Fuente: Arxiv, Título: Digital Twins and Blockchain for IoT Management; Fuente: Arxiv, Título: Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution).

4. Restricciones a la Automatización Física Completa:

En muchas regiones, como se observa en los puertos de EE. UU., la implementación de una automatización física completa, que podría mejorar drásticamente el procesamiento de contenedores, se ve limitada por protecciones laborales y marcos legales (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards). Esto crea una necesidad de soluciones que puedan ofrecer eficiencias comparables a la automatización sin requerir una transformación física radical de la infraestructura o una sustitución masiva de la mano de obra.

5. Limitaciones en la Capacidad Predictiva y Prescriptiva Avanzada:

Aunque se utilizan modelos predictivos y algoritmos de optimización, la integración de la capacidad de predicción con la prescripción de acciones óptimas en un ciclo de retroalimentación continuo para la planificación dinámica en tiempo real aún no está completamente desarrollada en todas las soluciones. La capacidad de un sistema para no solo decir lo que podría suceder, sino también qué hacer al respecto para lograr los mejores resultados, es una brecha crítica.

2.3. Posicionamiento e Innovación Clave del Proyecto

El Sistema Inteligente para la Optimización de Operaciones Portuarias (SIOOP) se posiciona como una solución innovadora que aborda frontalmente las limitaciones identificadas en el estado del arte, ofreciendo una propuesta de valor integral y de alto impacto para la gestión portuaria.

La principal propuesta de valor innovadora de SIOOP radica en su capacidad para ofrecer una **orquestración inteligente, proactiva y holística de todas las operaciones portuarias** a través de la integración sinérgica de sus tres pilares. A diferencia de las soluciones fragmentadas que optimizan procesos aislados, SIOOP proporciona una **visión unificada y en tiempo real de todo el ecosistema portuario** a través de su **Plataforma Central de Gemelo Digital**. Este enfoque integrado supera directamente la limitación de la falta de integración holística (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of

Container Yards; Fuente: Arxiv, Título: A Data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals), permitiendo que todas las interacciones (contenedores, grúas, camiones) sean gestionadas de forma coordinada. El Gemelo Digital no es solo una visualización, sino una herramienta activa para la simulación y el análisis "what-if", aprovechando la experiencia de marcos de ciudades inteligentes (Fuente: Arxiv, Título: Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution).

SIOOP aborda la brecha de las **restricciones a la automatización física completa** mediante su **Motor de Optimización con IA**. En lugar de requerir una costosa y a menudo inviable automatización de infraestructura, SIOOP utiliza algoritmos de Machine Learning y sistemas de recomendación para **optimizar inteligentemente los recursos existentes** (grúas, rutas de camiones) y los flujos operativos. Esto permite a los puertos lograr eficiencias a nivel de automatización, reduciendo los tiempos de inactividad y los cuellos de botella, sin incurrir en las limitaciones laborales o de inversión asociadas con la automatización física total (Fuente: Arxiv, Título: Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards). Esta capacidad de optimización prescriptiva es una innovación clave que transforma la gestión reactiva en una planificación proactiva.

Además, SIOOP contribuye a madurar la implementación de **Gemelos Digitales específicamente para puertos**. Al demostrar un marco funcional que integra la recopilación de datos IoT, la representación virtual del puerto y capacidades avanzadas de IA para la toma de decisiones, SIOOP proporciona un modelo concreto y aplicado de "Puerto Inteligente". La red de sensores IoT, con GPS, RFID y visión por computadora, asegura una recopilación de datos robusta, superando los desafíos de la gestión de datos en tiempo real al alimentar un Gemelo Digital continuamente actualizado.

En resumen, el proyecto SIOOP se posiciona en la vanguardia de la innovación portuaria al ofrecer una solución que:

1. Proporciona una **visión holística e integrada** de las operaciones portuarias a través de su Gemelo Digital.
2. Logra **eficiencias a nivel de automatización** mediante la IA, sin requerir cambios drásticos en la infraestructura física.
3. Desarrolla una **aplicación práctica y avanzada del Gemelo Digital** para el entorno portuario.
4. Permite una **optimización proactiva y predictiva** de recursos y flujos, superando las limitaciones de la gestión reactiva.

Estos elementos se traducen directamente en los objetivos cuantificables de SIOOP: reducir el tiempo promedio de permanencia de los camiones en un 25%, aumentar la eficiencia de las grúas en un 15%, y disminuir la congestión vehicular interna y las emisiones de CO2 asociadas en un 20%. Con ello, SIOOP no solo mejora la competitividad de los puertos de Colombia, sino que también establece un nuevo estándar para la sostenibilidad y la eficiencia en la logística marítima global, alineándose con las visiones más avanzadas de los "metaversos" logísticos portuarios (Fuente: Arxiv, Título: Artificial Intelligence-based Smart Port Logistics Metaverse for Enhancing Productivity, Environment, and Safety in Port Logistics) con un enfoque pragmático y orientado a resultados.

3. Fuentes y Referencias

Artículos Académicos Consultados

- [Arxiv] Predictive Machine Learning to Increase the Throughput of Container Yards

URL: <https://arxiv.org/pdf/2509.16207v1>

- [Arxiv] Simulation and optimization of container terminal operations: a case study

URL: <https://arxiv.org/pdf/1407.6257v1>

- [Arxiv] A Data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals: A case study for the Port of Rotterdam

URL: <https://arxiv.org/pdf/2311.15298v1>

- [Arxiv] Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience

URL: <https://arxiv.org/pdf/2301.10224v3>

- [Arxiv] Digital Twins and Blockchain for IoT Management

URL: <https://arxiv.org/pdf/2309.01042v1>

- [Arxiv] Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution

URL: <https://arxiv.org/pdf/2309.13394v1>

- [Arxiv] Artificial Intelligence-based Smart Port Logistics Metaverse for Enhancing Productivity, Environment, and Safety in Port Logistics: A Case Study of Busan Port

URL: <https://arxiv.org/pdf/2409.10519v1>

- [Arxiv] Planning of Truck Platooning for Road-Network Capacitated Vehicle Routing Problem

URL: <https://arxiv.org/pdf/2404.13512v1>