**Smart Ports: Integrating IoT, Optimization Algorithms, and Machine Learning for Logistics Efficiency**

Fanny Sofia Salgado Rojas1, Alejandra Hernández Jaramillo2, Valentina Salazar Marin3

1. Estudiante de pregrado, Universidad Católica Luis Amigó, Grupo de Investigación GESNE, Semillero Logistic and Operational Research, Negocios Internacionales SINNII, ORCID: 0000-0002-8792-0832, Medellín, Colombia, Fanny.Salgadoro@amigo.edu.co
2. Estudiante de pregrado, Universidad Católica Luis Amigó, Grupo de Investigación GESNE, Semillero Logistic and Operational Research, Negocios Internacionales SINNII, ORCID: 0000-0002-8792-0832, Medellín, Colombia, Alejandra,Hernandezja@amigo.edu.co
3. Estudiante de pregrado, Universidad Católica Luis Amigó, Grupo de Investigación GESNE, Semillero Logistic and Operational Research, Negocios Internacionales SINNII, ORCID: 0000-0002-8792-0832, Medellín, Colombia, Valentina.Salazarar@amigo.edu.co

**Resumen:** La digitalización portuaria bajo el paradigma de la Industria 4.0 está transformando la logística marítima global mediante tecnologías como IoT, Big Data, IA y Blockchain, con casos emblemáticos en puertos como Rotterdam, Shanghái y Hamburgo, donde se han logrado reducciones del 35% en tiempos de espera y 20% en emisiones de CO₂ gracias a la automatización de operaciones, algoritmos de optimización de rutas (como el modelo VRP adaptado para reducir combustible - FCVRP) y sistemas predictivos basados en Machine Learning. La pandemia aceleró esta transición, evidenciando el valor de infraestructuras inteligentes, destacándose el uso de Blockchain en Hamburgo para agilizar trámites aduaneros, reduciendo un 50% la documentación física. El IoT opera como eje central, permitiendo monitoreo en tiempo real de contenedores y flotas mediante redes de sensores, complementado con computación en la nube para gestión integrada de datos, como muestran proyectos piloto en puertos canarios. Paralelamente, el Big Data analiza patrones de tráfico marítimo, mientras la IA automatiza decisiones críticas, desde asignación de muelles hasta mantenimiento predictivo, replicando modelos exitosos de Shanghái. La sostenibilidad es clave, con iniciativas como logística verde y energías renovables en Rotterdam, contrastando con desafíos en América Latina (ej. puertos de Colón, Santos y Cartagena), donde persisten brechas en capacitación e infraestructura digital. Los Smart Ports emergen como indispensables para la logística del siglo XXI, combinando conectividad, automatización y sostenibilidad, aunque su escalabilidad requiere superar retos en gobernanza de datos y estandarización tecnológica, especialmente en regiones en desarrollo que buscan emular casos líderes globales.

**Palabras clave:** SmartPorts, IA (Inteligencia Artificial), Industria 4.0, Contenedores, Transporte

**Abstract:** Port digitalization under the Industry 4.0 paradigm is transforming global maritime logistics through technologies such as IoT, Big Data, AI, and Blockchain. Ports such as Rotterdam, Shanghai, and Hamburg are emblematic examples, where waiting times have been reduced by 35% and CO₂ emissions by 20% thanks to operational automation, route optimization algorithms (such as the fuel-efficient VRP model - FCVRP), and predictive systems based on machine learning. The pandemic accelerated this transition, highlighting the value of smart infrastructure. Particularly noteworthy is the use of Blockchain in Hamburg to streamline customs procedures, reducing physical documentation by 50%. IoT operates as a central hub, enabling real-time monitoring of containers and fleets through sensor networks, complemented by cloud computing for integrated data management, as demonstrated by pilot projects in Canary Islands ports. In parallel, Big Data analyzes maritime traffic patterns, while AI automates critical decisions, from dock assignment to predictive maintenance, replicating successful models in Shanghai. Sustainability is key, with initiatives such as green logistics and renewable energy in Rotterdam, contrasting with challenges in Latin America (e.g., the ports of Colón, Santos, and Cartagena), where gaps in training and digital infrastructure persist. Smart ports are emerging as indispensable for 21st-century logistics, combining connectivity, automation, and sustainability, although their scalability requires overcoming challenges in data governance and technological standardization, especially in developing regions seeking to emulate leading global cases.

**Keywords:** SmartPorts, AI (Artificial Intelligence), Industry 4.0, Containers, Transportation.