



HARBORSCAN

PERFECCIONANDO LA PRECISIÓN
PARA PUERTOS INTELIGENTES

PROYECTO FINANCIADO POR EL FONDO PORTS 4.0

Puertos del Estado



PORTS 4.0

Ports of Spain Tradetech Fund

1. Descripción y propósito de la idea

1.1. Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) ha evolucionado de forma sorprendente desde que en 1950, el matemático Alan Turing se preguntó: “¿Pueden pensar las máquinas?”. El Aprendizaje Automático (Machine Learning - ML) y la Visión por Computador (Computer Vision - CV) como subcampos fundamentales de la IA, desempeñan un papel clave a la hora de acortar distancias entre los seres humanos y las máquinas. Combinando los puntos fuertes del ML y de la CV, podemos desarrollar sistemas inteligentes capaces de reconocer, interpretar y responder a escenarios complejos del mundo real. Esta sinergia está transformando la manera en que las máquinas detectan, reconocen e interpretan nuestro entorno, con aplicaciones que van desde la seguridad hasta la salud, pasando por la automatización industrial y el entretenimiento interactivo.

El ML es un subcampo de la IA que se enfoca en desarrollar algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos y mejorar su rendimiento de forma progresiva en tareas específicas. Utiliza una amplia gama de técnicas, como las redes neuronales artificiales, para procesar grandes conjuntos de datos, identificar patrones y tomar decisiones. Por otro lado, la visión por Computador es una disciplina que busca replicar la complejidad del sistema visual humano permitiendo a las máquinas "ver" y procesar información visual. Combina técnicas de captura, procesamiento y análisis de imágenes y videos para extraer información útil o tomar decisiones basadas en esa información visual.

El mercado global de IA, incluido el ML y la CV, está en una trayectoria de crecimiento exponencial. La demanda de soluciones automatizadas y eficientes en sectores como la salud, automotriz, manufactura y entretenimiento está impulsando la innovación y la inversión en estas tecnologías. Además, los avances en hardware, como GPUs más potentes y chips especializados en IA, están facilitando desarrollos más rápidos y eficientes. La integración de la IA con tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de big data está abriendo nuevas posibilidades para aplicaciones inteligentes y conectadas que pueden transformar aún más la industria, la economía y la sociedad. El tamaño del mercado de IA en CV se valoró en más 13 mil millones de dólares en 2022 y se espera que alcance los 135 mil millones de dólares en 2030. Se estima que se tendrá una tasa compuesta anual del 33,1% de 2022 a 2030.

Por otro lado, los gemelos digitales (Digital Twins - DT) son una de las tecnologías más prometedoras en la vanguardia de la industria 4.0, revolucionando la forma en que las empresas diseñan, monitorizan, operan y mantienen sus activos físicos, procesos y sistemas. Un gemelo digital es una representación virtual de un producto, proceso o servicio. Esta réplica digital no sólo replica la forma y dimensiones del objeto físico, sino que también simula su comportamiento y dinámicas en tiempo real, gracias a la integración continua de datos a lo largo del ciclo de vida del objeto.

Reconocimiento facial 	Robots en la industria 	Vehículos autónomos 
Diagnóstico médico 	Agricultura de precisión 	Retail y Comercio Electrónico 

Tabla 1. Ejemplos de caso de usos de la Inteligencia Artificial

Los componentes clave de un gemelo digital incluyen:

- **Modelado físico:** Representación detallada de las características físicas y técnicas del objeto.
- **Datos en tiempo real:** Integración de datos operativos y de sensores para reflejar el estado actual del objeto físico.
- **Simulación y análisis:** Capacidad para simular diferentes escenarios y analizar el comportamiento del objeto bajo diversas condiciones.

El mercado de gemelos digitales está experimentando un crecimiento significativo, con una tasa compuesta anual de crecimiento (CAGR) proyectada del 30% entre 2023 y 2027. Se espera que el tamaño del mercado alcance los USD 310,44 mil millones en 2032, con una CAGR del 39,3%. Este crecimiento se debe a la creciente adopción de análisis de datos y la necesidad de mejorar la resiliencia y eficiencia operativas en la era post pandémica

La conciencia situacional en los entornos portuarios es clave para garantizar la seguridad, eficiencia, cumplimiento y sostenibilidad de las operaciones portuarias. La implementación de tecnologías avanzadas, como sistemas de gestión portuaria, sensores, cámaras de vigilancia y sistemas de información geográfica (GIS), juega un papel crucial en el mantenimiento de esta conciencia y en la capacidad del puerto para responder de manera efectiva a las condiciones cambiantes y los desafíos operativos.

1.2. Propuesta: HarborScan

La adopción de tecnologías de vanguardia en la industria portuaria ha sido fundamental para mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de sus operaciones. Tradicionalmente, la IA, especialmente en el campo de la visión por computador, ha jugado un papel crucial en tareas de vigilancia, control de accesos, reconocimiento óptico de caracteres (OCR) y análisis de datos masivos. Sin embargo, la gestión de entidades móviles dentro de los entornos portuarios ha dependido en gran medida de la utilización de sensores o de otros sistemas activos de localización (gps, radar, lidar, etc), lo que implica un costo adicional y una complejidad operativa.

En este contexto, nuestra propuesta **HarborScan** se centra en la implementación de un sistema innovador de IA que, aprovechando nodos con cámaras de alta definición estratégicamente ubicadas en el entorno portuario, **permitirá la detección, reconocimiento, seguimiento y geolocalización remota de entidades móviles**, como camiones, grúas, contenedores y personal, sin la necesidad de equipar a estas entidades con sensores o GPS adicionales. **La información recabada será integrada en tiempo real a plataformas de gemelos digitales**, proporcionando una **representación dinámica y precisa del estado y ubicación de dichas entidades**.



Figura 1. Diagrama del sistema HarborScan

La figura 1 muestra el diagrama de **HarborScan**. En el paso 1, el video capturado por los nodos desplegados o por la red existente de cámaras en el entorno portuario sirve como fuente de datos de entrada al sistema. Así, el streaming de video resultante es enviado a una plataforma en la nube de forma continua. En el paso 2, el subsistema HarborScanCloud, realiza las tareas de detección y reconocimiento de las entidades de interés, obteniendo al mismo tiempo la información relativa a su estado dinámico a nivel espacial. A continuación, en el paso 3, la información obtenida previamente es utilizada para obtener la posición geográfica, es decir, las coordenadas, de todas las entidades en tiempo real. La información geográfica y la metainformación de las entidades es empaquetada para transmitirla a una plataforma de representación de gemelos digitales, como se observa en el paso 4.

1.2.1. Objetivos:

Los objetivos generales que se pretenden alcanzar con esta propuesta son:

1. **Mejorar la eficiencia operativa:** Reducir los tiempos de respuesta y aumentar la rotación de cargas mediante la optimización del movimiento y la gestión de recursos portuarios.
2. **Incrementar la seguridad:** Minimizar riesgos operacionales y garantizar la seguridad de los trabajadores y las instalaciones mediante la vigilancia continua y el seguimiento de entidades móviles.
3. **Reducir costes:** Eliminar la necesidad de sistemas de localización basados en hardware, reduciendo gastos operativos y de mantenimiento.
4. **Fomentar la innovación:** Integrar tecnologías de punta para posicionar al puerto como líder en adopción tecnológica y eficiencia operacional.

1.2.2. Metodología:

La metodología a seguir, en términos generales, es la siguiente:

- **Instalación de nodos con cámaras de alta definición:** Despliegue estratégico de cámaras en puntos clave para cubrir la totalidad del entorno portuario. En una fase avanzada, es decir, una vez validada la idea, es deseable utilizar la infraestructuras de redes de cámaras desplegadas en los puertos, esto reduciría los costes y ampliará las capacidades de los sistemas existentes.
- **Adaptación de algoritmos de IA:** Implementación de algoritmos avanzados de IA para el procesamiento de video en tiempo real, capaces de identificar y rastrear entidades móviles.
- **Desarrollo de algoritmos de geolocalización remota en entornos portuarios:** Desarrollo e implementación de algoritmos de geolocalización remota específicos para entornos de puertos utilizando la información proporcionada por la IA.
- **Integración con plataformas de gemelos digitales:** Desarrollo de interfaces para la transferencia automática de datos geolocalizados y el estado de las entidades a los sistemas de gemelos digitales.

1.2.3. Beneficios Esperados:

Con la implantación de HarborScan se espera conseguir:

- **Visibilidad en tiempo real:** Monitorización constante y actualizada del estado y ubicación de todas las entidades móviles dentro del puerto.
- **Optimización de recursos:** Asignación eficiente de recursos basada en información precisa y actualizada.
- **Reducción de la huella de carbono:** Menor tiempo de inactividad y movimientos innecesarios de vehículos contribuyen a la sostenibilidad ambiental.

1.3. Descripción de HarborScan.

La propuesta **HarborScan** se basa en una **solución integral** que emplea tecnología de vanguardia en **inteligencia artificial (IA)** combinada con algoritmos de posicionamiento geográfico para **proporcionar en tiempo real, las coordenadas y el estado actual de las entidades** de interés para **alimentar sistemas de gemelos digitales** o cualquier sistema de control, optimización o seguridad dentro del entorno portuario. A continuación se detalla una descripción ampliada de los componentes, elementos y sistemas que conforman HarborScan.

1.3.1. Nodos con cámaras de alta definición

Componentes Esenciales:

- **Sensores de video de alta definición:** Se propone utilizar sensores que ofrecen captura de video en alta definición con capacidades de adaptación a variaciones extremas de luz y condiciones climáticas adversas. Por ejemplo, la serie IMX477 capaces de proporcionar imágenes claras y detalladas, esenciales para el reconocimiento y seguimiento preciso de entidades móviles, a la vez que son de fácil integración en sistemas embebidos tipo IoTs.
- **Infraestructura de montaje y protección:** Los sistemas de montaje deben ser robustos, diseñados para entornos marítimos, especialmente para resistir la corrosión. Las carcasas protectoras, deben garantizar la durabilidad frente a la salinidad y las condiciones meteorológicas.
- **Conectividad de red avanzada:** Se recomienda implementar soluciones de conectividad que aprovechen la infraestructura ya disponible en los entornos portuarios. Las redes cableadas y de fibra óptica son ideales para conseguir la máxima tasa de transmisión. No obstante, el sistema debe contar con la capacidad de conectividad inalámbrica para desplegar los nodos en los puntos de interés que no cuenten con estas redes.

Funcionalidad Operativa:

- **Cobertura exhaustiva:** La estratégica disposición de nodos con cámaras cubrirá áreas críticas, utilizando software de gestión de video para coordinar y administrar la captura y transmisión de datos.

1.3.2. Inteligencia Artificial basada en visión por computador (CV)

Componentes Avanzados:

- **Algoritmos de IA, CV y ML:** Implementación de plataformas de desarrollo como TensorFlow, PyTorch o Keras para el diseño de modelos de aprendizaje profundo personalizados, que sean capaces de procesar y analizar el video capturado.
- **Plataformas de procesamiento en tiempo real:** Se utilizan servicios de computación en la nube de alta capacidad como plataformas, para el reconocimiento de entidades que ofrezcan capacidades de procesamiento en tiempo real y escalabilidad.

Capacidades Analíticas:

- **Reconocimiento preciso y seguimiento dinámico:** La combinación de cámaras avanzadas y algoritmos de IA permitirá la identificación y el seguimiento en tiempo real de diversas entidades, aplicando técnicas de análisis de video avanzadas para garantizar precisión y eficiencia.

1.3.3. Algoritmos de geolocalización remota en entornos portuarios

Desarrollo Específico:

- **Implementación técnica:** El desarrollo de algoritmos específicos para la geolocalización remota de las entidades de interés. **La geolocalización remota es la obtención del posicionamiento geográfico de un objeto sin que este tenga un sistema GPS.** La obtención de las coordenadas geográficas se realiza a partir del información de las imágenes captadas y procesadas por la IA del streaming de video. Los algoritmos de geolocalización remota se basan en técnicas avanzadas de visión por computador y de sistemas geográficos de información. Es fundamental que estos algoritmos sean lo más eficientes posibles debido a la alta exigencia computacional requerida.

1.3.4. Integración con Plataformas de Gemelos Digitales

Infraestructura de Integración:

- **APIs de comunicación y sistemas de gemelos digitales:** Se utilizarán APIs basadas en websockets para la integración de datos en tiempo real con plataformas de gemelos digitales como que permiten la creación de modelos digitales detallados del entorno portuario.

Proceso de Integración:

- **Sincronización en tiempo real:** La integración efectiva con los sistemas de gemelos digitales asegurará una representación dinámica y precisa de las operaciones portuarias, facilitando la toma de decisiones basada en datos actualizados y precisos.



Figura 2. Ilustración de una plataforma de Gemelo Digital

Esta propuesta de **HarborScan** destaca la selección de componentes electrónicos y servicios de computación en la nube adecuados para garantizar la efectividad del sistema de IA basadas en CV en el entorno portuario. La implementación de esta solución avanzada promete transformar las operaciones portuarias, mejorando la seguridad, eficiencia y gestión de recursos mediante tecnologías de vanguardia. La figura 1. ilustra uno de los posibles resultados gráficos de la implementación. Cada entidad se encuentra geolocalizada proporcionando la metainformación asociada (tipo de entidad, estado espacial, alertas, etc).

2. Justificación de la propuesta

El objetivo de HarborScan es el diseño, desarrollo y despliegue de un sistema en la nube capaz de proporcionar Geospatial Intelligence as a Service (GlaaS) con la información relevante, en tiempo real, de las entidades móviles a las plataformas de gemelos digitales en los entornos portuarios.

2.1 Desarrollar un nuevo producto, servicio o proceso o mejorar una tecnología ya existente con componente innovador y desarrollar su aplicación al sector logístico-portuario.

HarborScan representa un avance significativo en la tecnología aplicada al sector logístico-portuario por varias razones clave que abarcan tanto el desarrollo de un nuevo producto-servicio como la mejora de las tecnologías existentes con un componente innovador. A continuación, se detallan los aspectos que destacan la importancia de HarborScan en este ámbito:

1. **Integración de tecnologías emergentes:** HarborScan fusiona tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y la visión por computador para detectar, reconocer, seguir y tele-geolocalizar entidades móviles en entornos

portuarios. Esta integración representa una innovación significativa al combinar múltiples disciplinas tecnológicas en una solución cohesiva.

2. **Eliminación de la necesidad de sensores o GPS adicionales:** Uno de los principales avances de HarborScan es su capacidad para operar sin la necesidad de equipos o sensores adicionales, como GPS, para la geolocalización y seguimiento de entidades. Esto se logra mediante el uso de cámaras de alta definición y análisis avanzados, lo que simplifica la implementación y reduce los costos operativos y de mantenimiento.
3. **Mejora de la eficiencia operativa:** Al proporcionar una plataforma que puede detectar y seguir de forma autónoma entidades móviles, HarborScan mejora significativamente la eficiencia operativa en los puertos. Esto permite una gestión más precisa de los recursos, optimización de los flujos de trabajo y mejora en la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.
4. **Integración con plataformas de gemelos digitales:** La capacidad de HarborScan para integrarse con plataformas de gemelos digitales representa un componente innovador clave. Esto ofrece una representación dinámica y precisa del estado y ubicación de las entidades portuarias, mejorando la planificación, el diseño y la simulación de operaciones portuarias.
5. **Soluciones a problemas complejos de logística:** HarborScan aborda problemas complejos de logística y gestión en puertos al proporcionar una solución tecnológica capaz de adaptarse a diferentes escenarios y necesidades operativas. Esto incluye la gestión del tráfico de contenedores, la asignación eficiente de muelles y la prevención de congestiones.
6. **Sostenibilidad y seguridad:** Al optimizar las operaciones portuarias, HarborScan contribuye a la sostenibilidad y seguridad en el sector. La eficiencia mejorada lleva a una reducción en el consumo de combustible y emisiones, mientras que la precisión en el seguimiento y la geolocalización aumenta la seguridad al minimizar los riesgos de accidentes.

2.2. Promover la consecución de soluciones de avance medibles en una o varias de las siguientes áreas de actividad logístico-portuaria.

HarborScan, al implementar un modelo de negocio basado en **Geoespatial Intelligence as a Service (GlaaS)**, ofrece soluciones innovadoras que impactan positivamente en diversas áreas de la actividad logístico-portuaria. A continuación, se detalla cómo HarborScan promueve la consecución de soluciones de avance medibles en cada una de las áreas mencionadas:

a) Eficiencia logística en el ámbito infraestructural, operacional o de prestación de servicios

HarborScan mejora significativamente la eficiencia logística al proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre la ubicación y movimiento de cargas y vehículos dentro del puerto. Esto permite optimizar las rutas de transporte internas, reducir los tiempos de espera y mejorar la planificación de cargas y descargas. Además, al integrar esta información con

sistemas de gestión portuaria, se facilita la toma de decisiones basada en datos, lo que contribuye a una mayor eficiencia operacional y a la reducción de costos.

b) Sostenibilidad ambiental y energía

La optimización de rutas y la mejora en la planificación de las operaciones portuarias que ofrece **HarborScan** conducen a una reducción en el consumo de combustible y, por ende, a una disminución de las emisiones de CO2 y otros contaminantes. Además, al facilitar una gestión más eficiente de los recursos, se promueve la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la creación de puertos más verdes y sustentables.

c) Seguridad y protección

HarborScan mejora la seguridad y protección dentro de las instalaciones portuarias mediante la vigilancia constante y la detección temprana de actividades sospechosas o no autorizadas. La capacidad de **geolocalizar de forma remota entidades móviles en tiempo real** permite una rápida respuesta ante incidentes, mejorando la seguridad de las mercancías, los trabajadores y las instalaciones. Esta visibilidad mejorada también contribuye a la protección contra el robo y el vandalismo.

d) Digitalización de procesos y plataformas inteligentes

La implementación de **HarborScan** es un claro ejemplo de la digitalización de procesos portuarios. Al integrarse con plataformas de gemelos digitales, ofrece una representación dinámica y precisa del estado y ubicación de las entidades portuarias, lo que permite una gestión más eficaz y una mejor planificación. Esta digitalización facilita la automatización de procesos y la implementación de soluciones basadas en inteligencia artificial, llevando a los puertos hacia una mayor modernización y eficiencia.

e) Cualquier otro producto, servicio o proceso innovador con impacto en el sector logístico-portuario

HarborScan puede servir como base para el desarrollo de nuevos productos y servicios que respondan a las necesidades específicas del sector logístico-portuario. Por ejemplo, puede facilitar la implementación de sistemas de gestión de flotas más avanzados, soluciones de seguimiento de contenedores en tiempo real, o incluso aplicaciones que promuevan la colaboración y compartición de datos entre diferentes actores del ecosistema portuario. Esto no solo impulsa la innovación dentro del sector, sino que también abre la puerta a la creación de nuevos modelos de negocio que aprovechen la inteligencia geoespacial como un activo clave.