

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL TRANSPORTE PÚBLICO

ABRIL | 2025

INTRODUCCIÓN

Este informe proporciona una descripción general de las aplicaciones de inteligencia artificial (IA) en el transporte público, actualizando el documento original de 2017 de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP). Analiza tanto buenas prácticas como los avances emergentes, con el fin de informar a las autoridades, operadores de transporte público y los pasajeros sobre el potencial transformador de la IA.

El informe prioriza los casos prácticos sobre temas más amplios como la regulación y la ética, que solo se mencionan brevemente, y excluye la ciberseguridad, un tema que merece un análisis más pormenorizado.

Los ejemplos presentados subrayan el impacto actual de la IA en tres áreas clave: optimizar la experiencia del usuario, mejorar la eficiencia operativa y reforzar la seguridad.



▶ TMB Barcelona Metro

EXPECTATIVAS Y REALIDAD

El lanzamiento de ChatGPT en octubre de 2022 demostró las notables capacidades de los grandes modelos de lenguaje (LLM), que destacan en la generación y el resumen de texto multilingüe, con una calidad que, a menudo, supera el rendimiento humano medio. Esto propició debates sobre la capacidad de la IA para reemplazar tareas humanas y el posible surgimiento de la inteligencia artificial general (IAG). En noviembre de 2024, las pruebas sugerían que los LLM podrían haber alcanzado su techo de rendimiento. Sin embargo, nuevos enfoques y arquitecturas optimizadas como DeepSeek (introducida a finales de 2024, que reduce significativamente los costes de formación y generación) han reavivado el impulso. Estos avances apuntan a un progreso continuo que desbloqueará nuevas aplicaciones y mejorará las capacidades de razonamiento de la IA.

A partir de febrero de 2025, la perspectiva de una IAG parece más factible que hace un año, aunque su impacto social sigue siendo difícil de predecir.

La evolución de la IA se debe a innovaciones fundamentales como la arquitectura Transformer de Google (2017), que revolucionó el procesamiento del lenguaje natural y allanó el camino para avances en los LLM. Estos modelos, ejemplificados por la serie GPT de OpenAI, han mostrado una notable versatilidad en distintos dominios, incluida la programación, el derecho y la medicina. A pesar de los puntos fuertes de los modelos, los investigadores han destacado sus limitaciones en tareas de razonamiento complejas: a menudo, los LLM se basan en la correspondencia de patrones probabilísticos en lugar de una verdadera comprensión conceptual. Esto plantea desafíos para la implementación

segura de LLM en el transporte público sin formación específica para cada tarea.

Los principales usos de la IA hoy en día se centran en tareas como el análisis de datos, la detección de anomalías y el mantenimiento predictivo. En este documento, destacamos tres categorías tecnológicas clave de aplicaciones de IA:

- ▶ **LLM**, usados principalmente en chatbots.
- ▶ **Análisis de vídeo basado en IA**, que aprovecha el procesamiento avanzado de imágenes.
- ▶ **Modelado predictivo**, que resuelve los problemas operativos.

Las dos primeras categorías suelen basarse en diversas formas de aprendizaje profundo, una técnica de IA de vanguardia. Por su parte, el modelado predictivo a menudo emplea métodos de IA más tradicionales. Aunque puedan parecer menos avanzados, son muy eficaces para resolver una amplia gama de problemas prácticos en el transporte público.

GRANDES MODELOS DE LENGUAJE

INTRODUCCIÓN

Aunque los LLM han recibido una atención significativa, hasta ahora su principal aplicación en el transporte público se ha centrado en dos áreas prácticas: optimizar la asistencia al personal y mejorar la atención al cliente. Estas aplicaciones aprovechan las capacidades de los LLM en la comprensión y generación de lenguaje natural para agilizar la comunicación, reducir los tiempos de respuesta y mejorar la calidad del servicio.

CASOS DE ATENCIÓN AL CLIENTE

Caso 1. PostBus (CH): información acústica para pasajeros mediante un motor de texto a voz

El objetivo de PostBus es proporcionar información acústica coherente y en tiempo real a los pasajeros de toda Suiza en varios idiomas, incluidos alemán, francés, italiano e inglés. Los anuncios automatizados de actualizaciones periódicas, así como de incidencias planificadas y no planificadas, son fundamentales en esta iniciativa.

Por ello, PostBus implementó un marco con dos componentes clave: un back end en la nube y un sistema de clientes. Este marco aprovecha interfaces de programación de aplicaciones (API) de aprendizaje automático e inteligencia artificial escalables impulsadas por LLM, lo que evita el proceso intensivo de crear modelos internamente. Para garantizar un servicio de alta calidad, el personal de PostBus audita periódicamente muestras de mensajes de texto a voz para comprobar su precisión y claridad.

Caso 2. Avatares de lenguaje de signos digitales para pasajeros con dificultades auditivas

La gama de lenguajes de signos es tan diversa como la de los idiomas hablados, con gramática y vocabularios únicos en cada región. Esto refleja la rica identidad cultural de las comunidades sordas. Por ejemplo, la lengua de signos británica (BSL) difiere significativamente de la americana (ASL).

En 2024, se desarrollaron aplicaciones para convertir texto y anuncios audibles en lengua de signos y varios idiomas escritos. Éstas se muestran en pantallas o navegadores específicos mediante avatares. Se están realizando pruebas de estos sistemas en entornos de transporte público. En Singapur, SBS Transit codesarrolló SiLVIA, un asistente humano digital impulsado por IA generativa. Se utilizan algoritmos avanzados de reconocimiento de voz para traducir instantáneamente palabras habladas y escritas a la lengua de signos. SiLVIA se puso a prueba en julio de 2024 en la estación Chinatown de la línea North East, y SBS Transit pretende implementarlo en estaciones de tránsito rápido masivo (MRT) e intercambiadores de autobuses en los próximos meses.

Otros proyectos similares incluyen la instalación de avatares en la estación central de trenes de Belgrado o en la autoridad portuaria de Nueva York y Nueva Jersey.



▶ Comunicación de viajeros con dificultades auditivas habilitada por GenAI

Caso 3. Chatbot para pasajeros

La Chicago Transit Authority (CTA) ha lanzado un chatbot llamado «Chat with CTA» para mejorar el servicio al cliente. El chatbot es la primera herramienta de CTA para informar de incidentes en tiempo real. Los clientes pueden enviar informes urgentes sobre temas como mantenimiento, limpieza y pasajeros molestos. El alcance inicial del chatbot se creó con un producto basado en procesamiento del lenguaje natural (PLN) de Google y puede atender el 79% de las consultas de los clientes.

Una actualización planificada para 2025 del producto LLM de Google utiliza generación aumentada por recuperación (RAG) para responder preguntas comunes y simples acerca de los servicios de CTA. Esto permitirá a la agencia ofrecer respuestas útiles y relevantes en, al menos, el 95% de los chats iniciados por los clientes.

Club Italia es una organización sin ánimo de lucro que promueve el uso de sistemas de pago y acceso sin contacto al transporte público. En enero de 2025 lanzaron la aplicación de código abierto Velvet, que permitirá a los usuarios enviar propuestas para un LLM en italiano. Estas se integrarán en un chatbot que puede responder a las solicitudes de los usuarios y ofrecer información actualizada dinámicamente, incluso horarios de servicios o consejos sobre ropa adecuada para las condiciones climáticas previstas el día del viaje. La solución se está probando en varias instituciones asociadas como IntercentER (agencia de compras telemáticas de la región de Emilia Romagna), UniMarconi (universidad en línea) y la región de Veneto. El objetivo principal de Club Italia es implementar Velvet en las regiones central y sur de Italia, con un enfoque especial en los operadores de transporte público en Sicilia.



▶ Señalización del metro de Japón

ASISTENTES DE PERSONAL

Caso 4. Chatbot basado en IA para asistencia a trabajadores de primera línea

Alameda-Contra Costa Transit (AC Transit) tuvo problemas a la hora de ofrecer asistencia sobre tecnologías de la información (TI) al personal de primera línea, como los operadores de autobuses, cuyos horarios, especialmente los turnos de noche, con frecuencia no se alineaban con la disponibilidad de asistencia de TI. El proceso existente dependía de dejar mensajes de voz o de que los supervisores enviaran solicitudes, lo cual era ineficiente y requería trabajo manual innecesario. Para resolver este problema se presentó «IT Aimee», un chatbot conversacional impulsado por IA generativa que permite a los operadores enviar directamente solicitudes de asistencia y acceder a información organizativa y de TI esencial. IT Aimee aprovecha recursos, como los artículos de conocimiento de Boss Desk y la documentación de resolución de problemas, para ayudar con la resolución de problemas en tiempo real. Además, AC Transit ha ampliado

sus capacidades con integraciones y flujos de trabajo de automatizados para resolver problemas de asistencia, facilitar el restablecimiento de contraseñas y gestionar consultas básicas de recursos humanos (RR.HH.). IT Aimee, diseñada para ofrecer asistencia inmediata 24/7 y adaptarse a los horarios del personal de primera línea, ha mejorado significativamente la velocidad de resolución y la accesibilidad para los trabajadores.

Caso 5. Chatbot basado en IA para centros de atención al cliente

El centro de atención al cliente del metro de Tokio gestiona aproximadamente 250.000 consultas al año. Para mejorar la velocidad y la precisión de la respuesta, han creado prototipos de aplicaciones de inteligencia artificial generativa que mejoran la funcionalidad del chatbot, agilizan las consultas sobre objetos perdidos y automatizan las respuestas por correo electrónico.

- ▶ Chatbot mejorado: al utilizar LLM avanzados, el chatbot puede interpretar las preguntas del usuario con mayor precisión y procesar diversos documentos, incluidos gráficos y contenido escrito a mano.
- ▶ Consultas sobre objetos perdidos: un chatbot dedicado permite informar a los clientes sobre objetos perdidos a través de una conversación guiada, lo que hace que el proceso sea menos laborioso y más eficiente.
- ▶ Automatización de correo electrónico: la IA analiza los correos electrónicos entrantes, recupera información relevante de fuentes como el sitio web del metro de Tokio y correspondencia anterior, y redacta respuestas. Esto permite responder más rápido.

Estas innovaciones mejoran las interacciones con los clientes y optimizan las operaciones de servicio.

ANÁLISIS DE VÍDEO

INTRODUCCIÓN

El análisis de vídeo impulsado por IA, también conocido como visión artificial, está a la vanguardia de los avances de IA en el transporte público. En la última década se han desarrollado múltiples aplicaciones en este campo, entre ellas:

- ▶ **Control de pasajeros:** las cámaras instaladas sobre las puertas y los techos de los vehículos permiten que la IA cuente los pasajeros, supervise las aglomeraciones, rastree la ocupación y genere datos de origen y destino.
- ▶ **Control de seguridad en autobuses:** las cámaras equipadas con IA supervisan los puntos ciegos y el comportamiento del conductor, y detectan posibles colisiones para mejorar la seguridad general.

- **Aplicaciones de cumplimiento de la ley:** la IA detecta vehículos no autorizados en carriles bus y casos de evasión de tarifas, lo que ayuda a aplicar la ley rápidamente.
- **Seguridad en cruces ferroviarios:** la IA supervisa los cruces ferroviarios para detectar peligros, como vehículos o peatones que cruzan de forma peligrosa, y alerta inmediatamente a los operadores.

AFRONTAR NUEVOS RETOS: CASOS PRÁCTICOS SOLICITADOS

Gracias a los éxitos anteriores, existe un gran potencial para utilizar la IA y resolver problemas emergentes más difíciles. Los casos prácticos clave solicitados incluyen:

- **Detección de comportamientos erráticos:** detección de merodeos, estados nerviosos, enfrentamientos o comportamientos suicidas para intervenir de forma proactiva.
- **Detección de armas:** identificar posibles armas en tiempo real para garantizar una respuesta rápida y mantener la seguridad.
- **Seguimiento de bultos abandonados:** detectar artículos abandonados y rastrear a su último propietario para abordar rápidamente las posibles amenazas de seguridad.

Algunos de estos problemas ya han pasado por la fase de prueba de concepto, con diferentes niveles de éxito.

INFORMACIÓN ADICIONAL Y DESARROLLOS FUTUROS

Actualmente, el objetivo es hacer que el análisis de vídeo sea más aplicable y eficaz en el transporte público, reducir su coste general y mejorar sus capacidades. Los desarrollos clave en proceso incluyen:

- **Computación perimetral:** el procesamiento de video en dispositivos perimetrales locales reduce la latencia y el ancho de banda, lo que ofrece respuestas más rápidas y menores costes de infraestructura.
- **Análisis colaborativo de varias cámaras:** la sincronización de las transmisiones de las cámaras puede mejorar la cobertura y la información, especialmente en áreas concurridas.
- **Informes sobre incidentes en tiempo real:** esto implica alertar inmediatamente a los operadores sobre incidentes, como altercados o aglomeraciones, para permitir respuestas más rápidas.
- **Mantenimiento proactivo:** se utilizan controles visuales de equipos móviles e infraestructura para detectar problemas o predecir fallos, lo cual minimiza las interrupciones.

- **Integración intermodal con sensores de Internet de las cosas (IoT):** la integración de datos de IoT (por ejemplo, temperatura, ruido, etc.) con análisis de vídeo enriquece la toma de decisiones y mejora la experiencia de los pasajeros.

PUNTOS DÉBILES ASOCIADOS AL USO OPERATIVO DE LOS MODELOS DE IA

El análisis de vídeo ofrece muchas ventajas, pero también tiene puntos débiles que los responsables de tomar decisiones deben considerar. Una cuestión importante es el impacto de las condiciones ambientales cambiantes en los análisis. Los modelos de IA suelen formarse con conjuntos de datos específicos y los cambios en el entorno físico pueden disminuir su precisión. Para garantizar un rendimiento fiable, puede que deba realizarse algún ajuste.

Otro punto débil son las propias cámaras: la exposición ambiental puede degradar su calidad con el tiempo, reducir la claridad de la imagen y afectar al rendimiento de la IA. La supervisión periódica del estado de las cámaras es fundamental para mantener una calidad de entrada óptima. El desarrollo de modelos de IA que gestionan variaciones y fallos de imagen sin una pérdida significativa de rendimiento también es clave.

CASOS PRÁCTICOS

Caso 1. Autoridad de transporte (LTA) de Singapur: seguridad en autobuses

La autoridad de transporte público de Singapur ha resuelto problemas de seguridad y eficiencia con la adopción de las tecnologías de inteligencia artificial de Streamax. Éstas incluyen sistemas de asistencia avanzada al conductor, control de la fatiga del conductor, detección de puntos ciegos y un sistema de vigilancia de alta capacidad. Esta actualización ha mejorado significativamente la seguridad y la calidad del servicio, y ha permitido una aplicación eficaz del uso del carril bus. Los pasajeros también se benefician de pantallas de disponibilidad de asientos en tiempo real, que muestran la ocupación del piso superior. 5.500 autobuses de los cuatro operadores de transporte público de Singapur han aplicado estas mejoras.



▶ Autoridad de transporte (LTA) de Singapur: seguridad en autobuses

Caso 2. Autoridad de transporte metropolitano (MTA) de Nueva York: seguridad en cruces ferroviarios, intrusión en túneles y evasión de tarifas

La MTA colabora con proveedores innovadores e instituciones de investigación para mejorar la seguridad y la eficiencia operativa. A través de su iniciativa anual Transit Tech Lab, la MTA realiza pruebas de las tecnologías de sus proveedores en toda la red de tránsito. Además, el departamento especializado de la MTA que supervisa las operaciones de CCTV y drones ha validado e implementado tecnologías de detección en tiempo real para intrusiones en túneles y evasión de tarifas, que se integran en los protocolos de seguridad de la agencia.

Cuando las soluciones comerciales resultan insuficientes, la MTA se asocia con instituciones de investigación líderes para abordar problemas específicos. Por ejemplo, los investigadores de la Universidad Rutgers desarrollaron un marco impulsado por IA que detecta intrusiones en vías de ferrocarril, señala a los infractores y genera videoclips de incidentes para un análisis detallado. Este sistema aprovecha la detección de objetos para analizar las imágenes y ofrece información valiosa, como los horarios de mayor afluencia de intrusos y los patrones de comportamiento de los infractores.

Caso 3. Centro de movilidad urbana de Sofía: niveles de ocupación de autobuses

En Sofía, el Centro de movilidad urbana se asoció con el proveedor de tecnología Theoremus para utilizar imágenes en tiempo real de las cámaras y clasificar la ocupación de los autobuses en cinco niveles. Esto elimina la dependencia de sistemas de conteo de embarque y desembarque, propensos a errores que se acumulan con el tiempo y requieren hardware adicional. Esta solución solo necesitó 50.000 imágenes y un modelo de IA relativamente sencillo.

Caso 4. AC Transit: control del carril bus

Los vehículos aparcados ilegalmente en paradas de autobús y carriles exclusivos para autobuses plantean grandes desafíos operativos y de seguridad a las agencias de tránsito. Las paradas de autobús obstruidas hacen que subir y bajar del autobús sea peligroso y, a menudo, inaccesible para los pasajeros con discapacidad. Los carriles bus obstruidos afectan a la velocidad comercial y dificultan el cumplimiento de horarios.

En junio de 2024, después de un proyecto piloto exitoso en 2022, AC Transit implementó la tecnología de percepción integrada en autobuses de Hayden AI. Las cámaras frontales utilizan visión artificial y procesamiento perimetral a bordo para detectar vehículos aparcados ilegalmente en carriles exclusivos para autobuses y paradas de autobús.

Al detectar una posible infracción, el sistema graba un video de 10 segundos del suceso, hace una fotografía de la matrícula del vehículo y envía tanto esta información como la hora y el lugar del evento a los funcionarios de control de aparcamiento, donde el personal lo analiza antes de decidir si emitir una sanción al propietario del vehículo registrado. No se requiere la intervención del operador del autobús.

Esta tecnología avanzada ha proporcionado tasas de detección mucho más altas y precisas que el sistema manual anterior. Para garantizar la privacidad, las cámaras están orientadas hacia la carretera y el área de la acera, y no graban a menos que se detecte una infracción de aparcamiento. No se graba nada dentro del autobús ni se utiliza ningún software de reconocimiento facial en el sistema.

Caso 5. FGC Barcelona: detección y control de la evasión de tarifas

Implementado en 2015 conforme al principio «si no innovamos en la lucha contra la evasión de tarifas, ésta solo crece», FGC introdujo cámaras específicas en estaciones urbanas clave para detectarla y disuadirla mediante el sistema de inteligencia artificial de AWAAIT. Este sistema identifica la evasión de tarifas en tiempo real en cada turno de acceso durante todas las horas operativas y proporciona a los revisores una aplicación para identificar específicamente a los evasores de tarifas, lo cual evita controles innecesarios e interrupciones a los pasajeros que pagan. Al permitir inspecciones selectivas durante las horas punta sin afectar al flujo de pasajeros, el sistema convierte cada cámara en un elemento disuasorio potencial que reduce significativamente la evasión de tarifas.

Caso 6. Boston: aplicación del Schepens Institute para guiar a usuarios ciegos y con discapacidad visual en paradas de autobús

En 2019, se lanzó una aplicación móvil para ayudar a los usuarios con discapacidad visual a llegar a las paradas de autobús, que solucionaba las imprecisiones del GPS mediante asistencia humana remota con la cámara del teléfono. Sin embargo, el modelo de negocio presentaba dificultades financieras y la aplicación dejó de usarse finalmente.

En 2024, el Schepens Institute reinventó el concepto con tecnología impulsada por inteligencia artificial. La nueva aplicación utiliza cámaras de teléfonos inteligentes y un sistema autónomo, formado con un conjunto relativamente pequeño de imágenes de paradas de autobús, para guiar visualmente a los usuarios a la parada más cercana dentro del campo de visión de la cámara. Esto elimina la necesidad de asistencia externa y proporciona una solución escalable y fácil de usar.



► *Detector de fraude*

MODELADO PREDICTIVO CON IA

El modelado predictivo es una rama de la IA que utiliza técnicas de aprendizaje automático para realizar previsiones o agrupar eventos en función de relaciones y patrones obtenidos de datos históricos. Los modelos se pueden clasificar en varios grupos, cada uno adecuado para diferentes tipos de tareas y datos. Los modelos de previsión se centran en predecir valores que son continuos (por ejemplo, una cantidad de pasajeros o una duración) o clasificados (por ejemplo, el estado del servicio como «a tiempo» o «retrasado»), mientras que los modelos de agrupación unen puntos de datos similares para identificar patrones ocultos. Con los avances en la tecnología y las capacidades de procesamiento, el aprendizaje automático predictivo ha dado un gran paso adelante en los últimos años.

VENTAJAS Y LIMITACIONES

Los modelos de aprendizaje automático pueden analizar rápidamente grandes cantidades de datos e identificar patrones que no son fácilmente visibles para el ojo humano. La ventaja principal es una mayor precisión en las previsiones y la agrupación de resultados, lo que, a su vez, conduce a una mejor toma de decisiones.

Aunque el aprendizaje automático ha transformado muchos campos, a veces no ofrece los resultados esperados. Hay muchas razones para esto, incluida la falta de datos, los problemas de calidad de los datos, la falta de ajuste o sesgo del modelo y la falta de recursos informáticos adecuados. Además, incluso cuando se han seguido todas las reglas de oro del aprendizaje automático y el modelo produce resultados excelentes, la falta de confianza debido a un efecto de «caja negra» puede hacer que el modelo sea inútil. La explicabilidad y la transparencia de los modelos de aprendizaje automático de IA son fundamentales para generar confianza y garantizar el cumplimiento normativo.

MODELADO PREDICTIVO PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO

El modelado predictivo con IA ha transformado la toma de decisiones en el transporte público para todos los recursos clave (empleados, vehículos, servicios e infraestructura). Una mejor toma de decisiones en este campo genera una mayor eficiencia operativa, calidad del servicio y seguridad.

RECURSOS HUMANOS

En cuanto a RR.HH., la IA facilita la planificación eficiente de turnos, la asignación de tareas y la distribución de la mano de obra (por ejemplo, se anticipa a los picos de demanda y al absentismo). Otras aplicaciones del modelado predictivo automatizan las tareas de generación de informes para mejorar la eficiencia operativa del personal de planificación.

Caso 1. IA para la eficiencia de los conductores

Alsa Marruecos opera la red pública de autobuses en cuatro grandes ciudades de Marruecos, con un total de 3076 conductores. El objetivo de este proyecto era lograr un estilo de conducción eficiente en todas las flotas y conductores. El enfoque utilizado es correlacionar los datos de telemetría del vehículo y otros datos externos, como el tráfico, los pasajeros y el clima, mediante un algoritmo de agrupamiento de aprendizaje automático. El modelo considera las diferencias operativas entre rutas y horarios punta/valle para proponer estilos de conducción únicos para cada situación y contexto operativo específico. Para garantizar una evaluación justa e imparcial de los conductores, se aplicaron una variedad de técnicas, incluido un enfoque de gamificación con incentivos y reconocimiento, identificación de zonas de riesgo o comportamientos recurrentes que requieren atención y sesiones de formación centradas en los problemas específicos de cada situación. Los resultados incluyeron un ahorro de combustible del 4 al 12 % y una reducción del 15 al 40 % en el número de alertas relacionadas con el uso inadecuado del vehículo. Esto último se traduce directamente en viajes más seguros y cómodos, así como vehículos con menos incidencias.

FLOTAS DE VEHÍCULOS

En la gestión de flotas, la IA facilita la planificación y el despacho eficientes de vehículos (por ejemplo, se anticipa a las necesidades de energía y mantenimiento o a la demanda de pasajeros). La IA se puede utilizar para identificar necesidades de mantenimiento antes de que ocurran fallos, lo cual reduce el tiempo de inactividad, aumenta la vida útil de la flota y mejora la seguridad. Con el uso creciente de autobuses eléctricos en el transporte público, la planificación de vehículos y el despacho en tiempo real son cada vez más complejos, pero también pueden beneficiarse de la IA con previsiones más precisas de la degradación de la batería, las tasas de descarga y los costes de electricidad.

Caso 2. Carga inteligente en una flota de autobuses eléctricos

Arriva España opera una flota de 16 autobuses eléctricos en sus instalaciones de Alcorcón. Con la introducción de vehículos eléctricos a batería (BEV), el operador se enfrenta a un aumento en la demanda energética. Necesita reducir los costes variables de energía y la degradación de las baterías de sus vehículos y, al mismo tiempo, garantizar la durabilidad en el funcionamiento. La solución de carga inteligente de Bia ofrece a Arriva la capacidad de optimizar dinámicamente los procesos de carga sin afectar al servicio. La plataforma utiliza un modelo de IA a partir de datos históricos de telemetría de cargadores y del sistema de gestión de flotas para predecir la carga de autobuses eléctricos. La solución facilita la programación de la carga durante períodos de precios de energía más bajos y ralentiza el proceso de carga para preservar la vida útil de la batería. Los resultados muestran una reducción del 25% en los costes de electricidad y del 24% en la carga máxima media por vehículo, sin impacto en los horarios de salida programados.

DISEÑO DE SERVICIOS Y GESTIÓN DE INCIDENCIAS EN TIEMPO REAL

Las autoridades consideran el tiempo de funcionamiento del vehículo y la demanda de pasajeros al diseñar el servicio que se ofrecerá. La IA puede proporcionar previsiones fiables de estos valores según datos históricos. Al tener en cuenta el clima, los eventos especiales y el flujo de tráfico en tiempo real, los modelos de IA pueden mejorar la eficiencia operativa y la calidad del servicio en tiempo real mediante la generación de cuadros de marcha realistas y previsiones de demanda de pasajeros más actualizadas.

Caso 3. Uso de IA/ML para predicciones precisas

La autoridad nacional de transporte (NTA) de Irlanda es responsable de supervisar y regular los servicios de transporte público en todo el país. La NTA gestiona una flota de más de 2000 autobuses y coordina diferentes modos de transporte, incluidos autobuses urbanos, tranvías y redes ferroviarias suburbanas. La autoridad se centra en optimizar la prestación del servicio, mejorar la experiencia de los pasajeros e integrar tecnologías avanzadas para optimizar la eficiencia operativa. Los métodos tradicionales de predicción de los tiempos de llegada, basados en una ponderación fija de datos históricos y de corto plazo, no se adaptan a las condiciones del tráfico y de la red en tiempo real. NTA implementó la tecnología Trapeze para abordar esto: un sistema con un motor de predicción de aprendizaje automático que ajusta dinámicamente la ponderación de los datos históricos y de corto plazo. El modelo de IA integra varias fuentes de datos (por ejemplo, tráfico, clima y carga de pasajeros) y datos históricos a largo plazo. Durante las pruebas, el algoritmo aumentó un 13% la precisión de la predicción.

Caso 4. #transmove: previsiones basadas en IA

En Hamburgo, el centro de control de tráfico de la policía es responsable de la gestión del tráfico y está en contacto frecuente con los centros de control de los diferentes operadores de transporte. La solución de problemas de tráfico puntuales (por ejemplo, atascos) solía basarse principalmente en la experiencia de los operadores. Para permitir simulaciones de tráfico multimodal a largo plazo, se desarrolló un modelo de tráfico basado en el comportamiento de movilidad individual utilizando parcialmente modelos basados en agentes. Para la previsión del tráfico a corto plazo, se utilizó un algoritmo de IA desarrollado por PTV que combina el modelo de tráfico basado en agentes con datos en tiempo real. Una interfaz de mapas proporciona datos en tiempo real sobre el flujo de tráfico actual y una previsión para los próximos 5-30 minutos. La interfaz también muestra obras viales actuales, accidentes y otros eventos que afectan el flujo de tráfico. Los operadores y el centro de control de tráfico tienen ahora una visión basada en datos de la situación actual del tráfico en la ciudad, y están capacitados para tomar mejores decisiones y resolver conjuntamente la gestión diaria de la movilidad urbana.

INFRAESTRUCTURA

A medida que la infraestructura ferroviaria envejece, la IA se puede utilizar para saber la probabilidad de fallo de cada componente (por ejemplo, las vías, la señalización o el equipo eléctrico). El mantenimiento predictivo ayuda a anticipar reparaciones y prevenir fallos inesperados, lo cual mejora la eficiencia operativa y la seguridad. La IA también se puede utilizar para gestionar componentes de infraestructuras complejas, como estaciones de metro, depósitos de flotas eléctricas, sistemas de señalización de vías y carreteras o redes de sistemas de comunicación.

Caso 5. Sistema de control de ventilación con IA

El metro de Barcelona se inauguró en 1921. Actualmente, cuenta con más de 130 estaciones. Debido a la infraestructura de la ciudad, su antigüedad y las condiciones meteorológicas, las temperaturas dentro de las estaciones pueden resultar incómodas para los pasajeros. Una buena ventilación en el metro es crucial para garantizar el confort térmico de los pasajeros y una calidad del aire adecuada. La ventilación de infraestructuras subterráneas es compleja y hay muchas variables implicadas. SENER desarrolló un sistema de control de ventilación con IA predictiva que se implementó en el metro de Barcelona en 2020 para resolver este problema. El sistema selecciona la estrategia de ventilación óptima en tiempo real según las condiciones meteorológicas, la calidad del aire interior y exterior, el consumo de energía, el rendimiento de los ventiladores y los costes energéticos, entre otros factores. El sistema ayudó a limitar la propagación de la enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) durante la pandemia. En 2022, el enfoque se centró en equilibrar el confort térmico, la

calidad del aire y la gestión energética, lo que resultó en una reducción de 1,3°C en la temperatura, un aumento del 20,9% en el rendimiento de los ventiladores, una reducción del 25,1% en el consumo de energía y un aumento del 10,7% en la satisfacción de los pasajeros.

PANORAMA NORMATIVO Y PROTECCIÓN DE LA PRIVACIDAD

El panorama normativo de la IA está evolucionando rápidamente, con nuevas medidas destinadas a controlar los modelos de IA, prevenir monopolios y garantizar la privacidad. Entre las normativas más importantes se incluyen la **Ley de IA de la Unión Europea (UE)**, que se centra en modelos a gran escala como los LLM, y el **Reglamento general de protección de datos (RGPD)**, que rige la privacidad de los datos. Aunque estas leyes tienen su origen en la UE, a menudo influyen en los enfoques normativos globales.

En Estados Unidos, iniciativas como el **Plan para una carta de derechos de la IA de 2022** proporcionan el marco para un uso responsable de la IA. A nivel mundial, se están desarrollando normas como **ISO/IEC 42001** para la IA, que ofrecen pautas internacionales.

Muchos países han implementado estrategias nacionales para fomentar la adopción de la IA y, al mismo tiempo, promover las mejores prácticas y estándares éticos. Sin embargo, un análisis detallado de estas diferentes normativas queda fuera del alcance de este informe.

FACTORES DE ÉXITO EN PROYECTOS DE IA

La IA está en constante evolución, lo que hace que sea un desafío para el sector adquirir y retener talento. La externalización del desarrollo de la IA puede facilitar la implementación eficiente de nuevas herramientas.

Los proyectos de IA exitosos en el transporte público hasta ahora han incluido los siguientes aspectos:

- **Colaboración:** una asociación transparente entre el proveedor de tecnología y las autoridades y operadores de transporte público para evaluar con precisión las capacidades de la IA.
- **Equipo específico:** un equipo comprometido en la autoridad o el operador es esencial. Dicho equipo debe

contar con el apoyo de la dirección y liderar la innovación, gestionar el acceso a los datos, facilitar la gestión del cambio y garantizar la privacidad. Aunque los miembros del equipo no tienen que ser especialistas en IA o dedicarse exclusivamente a ella, deben supervisar la calidad de los datos y ofrecer orientación clara a los proveedores sobre las necesidades funcionales.

CONSUMO DE ENERGÍA Y TAMAÑO DE LOS MODELOS

Los modelos de IA a gran escala son conocidos por su gran consumo de energía, ya sea durante su diseño o las operaciones regulares, cuando hacen inferencias o predicciones a partir de datos. Esta alta demanda se debe en gran medida a su alcance amplio y generalizado, que requiere una gran potencia computacional.

Un enfoque prometedor es utilizar estos modelos grandes junto con modelos más pequeños específicos para cada problema. Estos modelos más pequeños consumen menos energía y son más adecuados para aplicaciones prácticas, lo que permite una adopción más amplia de la IA. En algunos casos, las soluciones de IA pueden comenzar siendo pequeñas y aprovechar modelos grandes para lograr una formación o validación eficientes, de cuyas capacidades se beneficiarían sin incurrir en costes energéticos elevados. Esta estrategia híbrida permite desarrollar soluciones de IA más sostenibles que equilibran la eficiencia y el impacto.

CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

Las tecnologías de IA han experimentado un importante aumento de rendimiento desde 2012, impulsadas por los avances en las redes neuronales y la disponibilidad de big data y potencia computacional. El transporte público ya se beneficia de la IA en procesamiento del lenguaje natural y visión artificial. Los futuros casos de uso mejorarán aún más la experiencia del cliente y la eficiencia operativa.

El grupo de trabajo sobre IA de la UITP seguirá supervisando de cerca los avances de la IA y emitirá documentación actualizada a medida que surjan nuevos desarrollos. Al mantenerse informados y proactivos, nuestro sector puede aprovechar todo el potencial de la IA para mejorar sus servicios y satisfacer las necesidades cambiantes de los pasajeros.

Este es un informe de la UITP, la Asociación Internacional de Transporte Público. La UITP agrupa a más de 2.000 empresas asociadas en 100 países de todo el mundo y representa los intereses de los agentes clave en este sector. Sus socios incluyen autoridades de transporte, operadores, tanto públicos como privados, en todas las modalidades de transporte público, y la industria. La UITP centra su trabajo en los aspectos económico, técnico, de organización y de gestión del transporte de pasajeros, así como en el desarrollo de políticas destinadas a la movilidad y al transporte público a escala mundial.

Este informe ha sido elaborado por el grupo de trabajo sobre IA de la UITP, establecido por los comités ITT e IT&I.