



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

FINAL PROJECT REPORT

**ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN Y
TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA
OPTIMIZAR EL AEROPUERTO DE
BILBAO.**

LA PALOMA.

Idoia Viguera Gallego

Curso 2023-2024

Título: Estrategia de innovación y transformación digital para optimizar el aeropuerto de Bilbao. La Paloma.

Autor: Idoia Viguera Gallego

Tutor: Ernesto de la Fuente Cantarino

Titulación: Máster Habilitante en ingeniería aeronáutica

Curso: 2023-2024

*« μεράκι; (meráki) n (plural μεράκια) Passion: intense desire or sorrow.
Hacer algo con amor y con placer »*

ABSTRACT

This Master's Thesis aims to develop a strategy for innovation and digital transformation for Bilbao Airport, with the goal of transforming it into a smart airport in the coming years. The work is structured into two main sections.

The first section provides a theoretical foundation divided into four key chapters that explore the current state and future trends of technologies applied to airports. These chapters are: automation and IoT, environmental sustainability, enhancement of passenger experience, intermodal connectivity, and finally, infrastructure architecture.

The second section focuses on a specific case study applied to Bilbao Airport. It begins with an introduction to the airport, its history, and its current infrastructures. Subsequently, the theoretical concepts from the first section are integrated into a practical application that addresses environmental sustainability, intermodal connectivity, and passenger experience at Bilbao Airport.

Finally, the economic feasibility of implementing these changes is evaluated, considering the necessary requirements for Bilbao Airport to achieve a high level of intelligence and automation by the year 2050. This analysis provides a detailed overview of the investments and adaptations needed to transform the airport into a modern and efficient hub.

This work not only establishes a detailed action plan but also offers an innovative perspective on the future of smart airports, highlighting the importance of sustainability, IoT, and user experience in the context of digital transformation.

Key words: innovation, environmental sustainability, automation, hub, IoT.

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo desarrollar una estrategia de innovación y transformación digital para el aeropuerto de Bilbao, con la meta de convertirlo en un aeropuerto inteligente en los próximos años. El trabajo se estructura en dos bloques principales.

El primer bloque ofrece una base teórica dividida en cuatro capítulos clave que exploran el estado actual y las tendencias futuras de las tecnologías aplicadas a los aeropuertos. Estos capítulos son: automatización e IoT, sostenibilidad ambiental, mejora de la experiencia del pasajero, conectividad intermodal y por último, arquitectura de infraestructuras.

El segundo bloque se centra en un caso de uso específico aplicado al aeropuerto de Bilbao. Se comienza con una introducción al aeropuerto, su historia y sus infraestructuras actuales. Posteriormente, se integran los conceptos teóricos del primer bloque en una aplicación práctica que aborda la sostenibilidad ambiental, la conectividad intermodal y la experiencia del pasajero en el aeropuerto de Bilbao.

Finalmente, se evalúa la viabilidad económica de implementar estos cambios, considerando los requisitos necesarios para que el aeropuerto de Bilbao alcance un alto nivel de inteligencia y automatización antes del año 2050. Este análisis proporciona una visión detallada de las inversiones y adaptaciones necesarias para transformar el aeropuerto en un hub moderno y eficiente.

Este trabajo no solo establece un plan de acción detallado, sino que también ofrece una perspectiva innovadora sobre el futuro de los aeropuertos inteligentes, subrayando la importancia de la sostenibilidad, el IoT y la experiencia del usuario en el contexto de la transformación digital.

Palabras clave: innovación, sostenibilidad ambiental, automatización, hub, IoT.

Agradecimientos

« Especial agradecimiento a mi familia: Ama, Aita, Ander.

*Por entenderme hasta cuándo yo no me entiendo y apoyarme siempre.
Sin ellos, nada de esto hubiera sido posible. »*

A mis amigos y amigas que han estado siempre a mi lado durante estos últimos años, gracias.

A mi tutor de proyecto Ernesto, por hacer posible que éste proyecto siguiera adelante.

Gracias a todos.

Índice de contenidos

ABSTRACT	5
RESUMEN	6
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Estado del arte	14
1.2 Objetivos del proyecto	15
1.3 Metodología y estructura.....	15
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Automatización e IoT.	16
2.2 Sostenibilidad ambiental.....	22
2.3 Mejora de la experiencia del pasajero	32
2.4 Conectividad intermodal.....	37
2.5 Arquitectura de infraestructuras	44
Capítulo 3. CASO DE USO. AEROPUERTO DE BILBAO.....	50
3.1 Introducción	50
3.2 Contexto histórico	52
3.3 Infraestructuras actuales.....	56
3.4 Sostenibilidad ambiental – Plan de Acción Climática.....	65
3.5 Conectividad intermodal.....	73
3.6 Experiencia del pasajero	80
Capítulo 4. PLAN DE ACCIÓN FINANCIERA	87
4.1 Presupuestos	87
4.2 Fuentes de financiación	89
Capítulo 5. CONCLUSIONES.....	90
REFERENCIAS & BIBLIOGRAFÍA.....	91



Ilustraciones

Ilustración 1. Proyección de emisiones CO_2 en los próximos años en la aviación. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020).....	22
Ilustración 2. Hidrogenera en Zona Franca de Barcelona, primera instalación comercial de producción y dispensación de hidrógeno renovable en España. (Iberdrola, 2023).....	29
Ilustración 3. Tanque de hidrógeno líquido. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020).....	30
Ilustración 4. Cascada central del complejo comercial del aeropuerto de Changi, Singapur. (Aeropuerto Jewel Changi, s.f.)	34
Ilustración 5. Iniciativa Aeropuerto Internacional Rey Salman en Riad. (Xataka, 2024).....	35
Ilustración 6. Aeropuerto de Seúl Incheon. (World Airport Awards, 2023).....	35
Ilustración 7. Cápsulas selladas al vacío ultrarrápidas. (Freepik, s.f.)	36
Ilustración 8. Coche volador de Alef Aeronautics, Model A. (Lázaro, 2024).....	39
Ilustración 9. VoloCity air taxi en París. (Volocopter, 2024)	40
Ilustración 10. VoloPort en Singapur. (Volocopter, 2024)	41
Ilustración 11. Concepto Pods4Rail. (FA7 PODS 4RAIL, 2024)	41
Ilustración 12. Interior de la nueva terminal de Schiphol. (ESTUDIO LAMELA Arquitectos, 2023)	44
Ilustración 13. Jardines exteriores de la terminal de Schiphol. (ESTUDIO LAMELA Arquitectos, 2023)	45
Ilustración 14. Aeropuerto de Bilbao, La Paloma. (Route Development Committee, 2024).....	51
Ilustración 15. Cronograma de la historia del aeropuerto de Bilbao. (Aena, 2024)	54
Ilustración 16. Zona de captación del aeropuerto de Bilbao. (FlyBio.eus, 2023)	55
Ilustración 17. Planta 0 del aeropuerto de Bilbao, localización de aparcamientos. (Aena, 2024)	56
Ilustración 18. Planta 1 del aeropuerto de Bilbao. Llegadas y salidas remoto. (Aena, 2024).....	57
Ilustración 19. Ampliación de la ilustración 18.	58
Ilustración 20. Planta 2 del aeropuerto de Bilbao. Zona de distribución de pasajeros. (Aena, 2024)	59
Ilustración 21. Ampliación de la ilustración 20.	59
Ilustración 22. Planta 3 del aeropuerto de Bilbao. Entreplanta. Salidas. (Aena, 2024)	60
Ilustración 23. Ampliación de la ilustración 22.	60
Ilustración 24. Mapa de los servicios disponibles en el aeropuerto de Bilbao. (Aena, 2024)	64

Ilustración 25. Plan de Acción Climática, Aeropuerto de Bilbao. Elaboración Propia.	65
Ilustración 26. Diagrama funcionamiento planta de cogeneración. Elaboración Propia.	68
Ilustración 27. Proyectos más importantes para Emsiones Alcance 1 & 2 del PDAC para el aeropuerto de Bilbao. Elaboración Propia.	68
Ilustración 28. Vehículo eléctrico para actividades handling Iberia y Repsol. (Iberia, 2023)	69
Ilustración 29. Puntos de carga de vehículos eléctricos en lado aire. Elaboración Propia.	70
Ilustración 30. Ampliación de la ilustración 29.	70
Ilustración 31. Red ferroviaria de Acceso al aeropuerto. Elaboración Propia.	74
Ilustración 32. Localización de la parada de Taxis tradicionales. (Aena, 2024)	76
Ilustración 33. Señalización intermodal acceso/salida al aeropuerto. Elaboración Propia.	78
Ilustración 34. Mapa de la localización de los vertipuertos para aerotaxis. Elaboración Propia.	78
Ilustración 35. Concepto vertipuerto. Zona de seguridad, zona de estacionamiento de aerotaxis, zona de aproximación final y despegue. Elaboración Propia.	78
Ilustración 36. Interior de la zona de facturación para pasajeros del aeropuerto de Bilbao. (Grupo San José, s.f.).....	81
Ilustración 37. Arquitectura de Jardín aplicada a la zona de facturación para pasajeros. Elaboración Propia.	82
Ilustración 38. Ejemplos de proyectos de Biometría Facial de Aena. (Aena, 2024).....	83
Ilustración 39. Aplicación BagID. (BagID, 2024)	84

Tablas

Tabla 1. Comparación de nuevos combustibles sostenibles. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020).....	25
Tabla 2. Comparativa de la aplicativa del Plan de Acción Climática. Elaboración Propia.....	72
Tabla 3. Comparativa de los nuevos medios de transporte para acceso/salida del aeropuerto. Elaboración Propia.	79
Tabla 4. Comparativa de las mejoras de la experiencia del pasajero. Elaboración Propia.....	86
Tabla 5. Resumen de estimación de presupuestos. Elaboración Propia.	88

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más interconectado y tecnológico, los aeropuertos juegan un papel crucial como nodos de transporte y puntos de encuentro global. La necesidad de modernizar estas infraestructuras para adaptarse a las exigencias del siglo XXI ha llevado a la adopción de tecnologías avanzadas y estrategias de transformación digital.

Este Trabajo Fin de Máster se centra en el desarrollo de una estrategia integral de innovación y transformación digital para el aeropuerto de Bilbao, con el objetivo de convertirlo en un aeropuerto que cumpla con los planes de acción climática establecidos por la Unión Europea para los próximos años, y no se quede atrás en la implementación de nuevas tecnologías que hoy en día ya se aplican en otros aeropuertos españoles de la red de Aena.

El aeropuerto de Bilbao, como puerta de entrada principal al País Vasco, debe evolucionar para ofrecer un servicio eficiente, seguro y sostenible. En este contexto, el presente trabajo se divide en dos bloques principales.

El primer bloque proporciona una base teórica sólida, dividida en cuatro capítulos clave que analizan el estado actual y las tendencias futuras de las tecnologías aplicadas a los aeropuertos. Estos capítulos abordan la automatización y tecnología inteligente en la seguridad aeroportuaria, la sostenibilidad ambiental mediante el uso de combustibles alternativos y vehículos eléctricos, la conectividad digital para mejorar la experiencia del pasajero, y el desarrollo de infraestructuras inteligentes.

El segundo bloque aplica estos conceptos teóricos en un caso de estudio concreto del aeropuerto de Bilbao. Se realiza una introducción detallada del aeropuerto, incluyendo su historia y sus infraestructuras actuales. Posteriormente, se integran los principios teóricos en una propuesta práctica que aborda la sostenibilidad ambiental, la conectividad intermodal y la mejora de la experiencia del pasajero, con el fin de demostrar la viabilidad de transformar Bilbao en un aeropuerto inteligente.

Finalmente, se evalúa la viabilidad económica de implementar estas innovaciones, considerando los requisitos necesarios para que el aeropuerto de Bilbao alcance un alto nivel de inteligencia y automatización antes del año 2050.

1.1 Estado del arte

Meraki en griego, proviene del turco *merak* y significa poner amor y creatividad en algo que te apasiona. Es una de esos conceptos como *ikigai*, que pueden ayudarte tanto en tu desarrollo personal y laboral. ¿Y qué puede salir mal cuando pones todo tu alma y pasión en algo?

Viajar tanto desde muy pequeña me ha enriquecido de muchas maneras, y hoy en día, sigo buscando cualquier excusa para pisar un aeropuerto y coger un avión. Esto no ha hecho más que aumentar mi pasión por esta profesión, la ingeniería aeroespacial, porque ahora al pisar un aeropuerto y subirme a un avión, lo disfruto mucho más que cuando era pequeña; lo comprendo, lo admiro y sigo teniendo esa curiosidad sobre cómo funcionan las cosas, aunque ahora ya lo sepa.

Por eso elegí un proyecto como éste para finalizar mi etapa en la universidad. No hay mejor manera de cerrarla que con la misma pasión y dedicación que cuando la empecé. Los aeropuertos deben de adaptarse a esta carrera tecnológica lidiada por los humanos, ya que el transporte aéreo tiene aún mucho que ofrecernos.

La transformación digital y la innovación son cruciales para alcanzar estos objetivos.

El uso de hidrógeno como combustible alternativo para aeronaves y la integración de vehículos eléctricos en operaciones terrestres son iniciativas clave para mejorar la sostenibilidad ambiental en los aeropuertos. Aunque estos avances presentan desafíos en términos de infraestructura y costos, su adopción podría reducir significativamente las emisiones de carbono y mejorar la eficiencia energética.

Artículos publicados muestran avances significativos en la adopción de tecnologías inteligentes y sostenibles en los aeropuertos. Sin embargo, persisten desafíos en su implementación a gran escala. Este trabajo propondrá una estrategia integrada para transformar el aeropuerto de Bilbao en un aeropuerto inteligente, abordando tanto los aspectos técnicos como económicos necesarios para su viabilidad antes del año 2050.

1.2 Objetivos del proyecto

El proyecto tiene los siguientes objetivos principales:

- Ofrecer al lector nuevas implementaciones tecnológicas viables para la terminal de pasajeros del aeropuerto de Bilbao.
- Convertir el aeropuerto de Bilbao en un aeropuerto verde e inteligente, a la altura de otros aeropuertos españoles que pertenecen a la red de Aena.

Para lograr los objetivos principales, a continuación se listan una serie de objetivos secundarios que se han de llevar a cabo para cumplir con los mencionados previamente:

- Analizar contextos actuales sobre tecnologías en desarrollo dentro del sector aeroportuario.
- Ofrecer al lector la información necesaria para comprender los conceptos aplicados en el caso de uso.
- Estudiar el funcionamiento del aeropuerto de Bilbao actualmente.
- Estudiar la viabilidad tanto infraestructural como económica para aplicar esos cambios.

En el caso de que éste proyecto se llevara a cabo en los próximos años, serían necesarios una serie de desarrollos futuros de mucha más dedicación y conocimiento, por lo tanto, se recuerda al lector que esto es sólo una estrategia conceptual.

1.3 Metodología y estructura

La metodología elegida para éste proyecto ha sido una metodología basada en el concepto Six Sigma Ágil en la que primero se han definido los objetivos que se querían lograr. Después se han reunido datos que han ayudado a buscar las mejoras a implementar en el aeropuerto de Bilbao. A continuación se han analizado e identificado las mejoras individualmente para solucionar los problemas de flujo de pasajeros y emisiones de CO2 vía estrategia de innovación. Y por último, se ha realizado un estudio de costes y viabilidad económica.

Como se ha mencionado en la introducción del proyecto, se ha dividido en dos bloques, un primer bloque de análisis e investigación y un segundo bloque de caso de uso. En ambos bloques se estudian los mismos conceptos, entrelazados entre sí y divididos por capítulos.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

Los aeropuertos modernos se encuentran en constante evolución, adoptando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia operativa y ofrecer una experiencia más fluida a los pasajeros. Desde la automatización de procesos de facturación y control de seguridad hasta la implementación de sistemas de reconocimiento facial para la recogida de equipajes, la innovación tecnológica ha revolucionado la forma en que interactuamos con los aeropuertos.

2.1 Automatización e IoT.

En este contexto, la seguridad se erige como una prioridad ineludible. Los avances en tecnología inteligente ofrecen oportunidades sin precedentes para fortalecer las medidas de seguridad aeroportuaria. Desde sistemas de escaneo biométrico hasta detección avanzada de amenazas, la aplicación de estas soluciones puede garantizar un entorno más seguro y protegido para los viajeros y el personal aeroportuario.

Sin embargo, a medida que exploramos las posibilidades que ofrece la tecnología, surge una pregunta fundamental: ¿Puede la Ley de Protección de Datos Europea ser un límite para el reconocimiento facial? Este cuestionamiento plantea un desafío crucial en el equilibrio entre la seguridad y la protección de la privacidad de los individuos. En este estudio, exploraremos cómo las nuevas tecnologías pueden ser implementadas de manera efectiva en la seguridad aeroportuaria, respetando al mismo tiempo los estándares de privacidad y protección de datos establecidos por la legislación europea.

Las aerolíneas, aeropuertos y gobiernos continúan invirtiendo en soluciones de gestión de identidad digital y biometría debido a su potencial para crear una experiencia de pasajero más segura, fluida y sin contacto desde el principio hasta el final del viaje. Para el año 2030, se espera una mayor implementación de la biometría que reemplace los pasaportes en papel, las tarjetas de embarque y otros documentos de viaje, como visas.

Para el año 2030, estas tecnologías tendrán una década y media de precedente: en 2015, el Aeropuerto de Aruba introdujo su sistema *Happy Flow*, que utiliza reconocimiento facial para tomar una foto biométrica del pasajero, la cual se vincula con su pasaporte. Esto permite que el pasajero solo necesite pararse frente a una cámara en casi todos los puntos de contacto del pasajero, excluyendo el control de seguridad.

El intercambio de datos, asegurando la seguridad e integridad de los mismos, es crucial para la implementación de la tecnología biométrica. Según el estudio “The Evolution of Airports, a flight path to 2050” publicado por Oliver Wyman fórum el 73% de los pasajeros hoy en día declaran una completa disposición a compartir sus datos biométricos para mejorar los procesos del aeropuerto.

Y ahora bien, ¿Cómo funciona el sistema biométrico?

El sistema de reconocimiento facial en los aeropuertos utiliza tecnología de inteligencia artificial para identificar a los pasajeros mediante el análisis de características faciales únicas. Esto permite cruzar el filtro de seguridad y embarcar de forma más ágil sin necesidad de mostrar el DNI, pasaporte o tarjeta de embarque.

Sin ir más lejos, analicemos el Programa de reconocimiento facial de Aena. De momento sólo hay cuatro aerolíneas participantes, y algunos aeropuertos Españoles que tienen equipamiento disponible para el reconocimiento facial, aunque se prevé que la lista se expanda a lo largo del desarrollo de esta técnica.

Según la Política de privacidad del Servicio de Biometría de Aena:

“Respecto a sus datos biométricos (imagen facial), dichos datos en ningún momento son compartidos con ningún tercero, nunca salen de los sistemas de Aena, recibiendo su aerolínea solamente los datos identificativos y de su tarjeta de embarque que ella misma le ha emitido.

Podrá realizar su vuelo biométrico, con cualquiera de las compañías aéreas suscritas al Programa de Reconocimiento Facial y siempre que usted haya expresado a la misma su deseo de realizar sus vuelos con este sistema en el momento de obtener su tarjeta de embarque por primera vez, otorgando así su consentimiento a la misma.”

Se considera que es necesario el consentimiento de tratamiento de datos personales del pasajero para poder participar en el programa de reconocimiento facial, y que AENA se responsabiliza por completo de esos datos biométricos. Se tratan datos como los datos identificativos del pasajero (Número DNI, Pasaporte...), datos de contacto (correo electrónico), datos biométricos (imagen facial), datos de la tarjeta de embarque, datos relativos al medio utilizado para el registro de la App.

En este caso, los datos biométricos resultantes de la aplicación de las fotografías en el momento del registro del pasajero se conservan unos segundos, y en el proceso de paso por las puertas, se conservan un máximo de 12 horas antes del vuelo del pasajero hasta un máximo de 24 horas tras el cierre del vuelo.

Es importante resaltar que es un proceso totalmente voluntario, si el pasajero no desea utilizarlo puede realizar el tránsito por el aeropuerto de manera tradicional presentando la documentación correspondiente en cada punto de control establecido en cada aeropuerto.

Es momento de analizar el “Reglamento (UE) 2018/1725 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2018, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales por las instituciones, órganos y organismos de la Unión, y a la libre circulación de esos datos, y por el que se derogan el Reglamento (CE) n.º 45/2001 y la Decisión n.º 1247/2002/CE”

De conformidad con el procedimiento legislativo ordinario se considera lo siguiente:

(1)

La protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de los datos de carácter personal (datos personales) es un derecho fundamental. El artículo 8, apartado 1, de la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea (en lo sucesivo, «Carta») y el artículo 16, apartado 1, del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE) disponen que toda persona tiene derecho a la protección de los datos de carácter personal que le conciernen. También el artículo 8 del Convenio para la Protección de los Derechos Humanos y de las Libertades Fundamentales garantiza ese derecho.

(2)

El Reglamento (CE) n.º 45/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo (3) proporciona a las personas físicas unos derechos protegidos jurídicamente, especifica las obligaciones de los responsables del tratamiento dentro de las instituciones y los organismos de la Unión en materia de tratamiento de datos y crea una autoridad de control independiente, el Supervisor Europeo de Protección de Datos, responsable de la vigilancia de los tratamientos de datos personales efectuados por las instituciones y los organismos de la Unión. Sin embargo, no se aplica al tratamiento de datos personales en el ejercicio de una actividad de las instituciones y los organismos de la Unión no comprendida en el ámbito de aplicación del Derecho de la Unión.

...

De acuerdo con la clasificación sugerida de las herramientas de inteligencia artificial según su nivel de riesgo percibido, se busca establecer un equilibrio entre la regulación de las técnicas de reconocimiento facial con inteligencia artificial y la salvaguarda de la privacidad, libertad y autonomía de los ciudadanos. Este enfoque permite fomentar la innovación y el desarrollo de estas herramientas, mientras se garantiza el respeto, la observancia de los derechos y libertades individuales.

En los próximos años, la inteligencia artificial y la tecnología de Internet de las cosas (IoT) serán parte fundamental de las operaciones aeroportuarias. El uso de "gemelos digitales" de un aeropuerto conducirá a una toma de decisiones más rápida y mejor a través de la visualización, simulación y predicción de situaciones y cambios hipotéticos. (Oliver Wynmann Forum , 2023)

Los gemelos digitales son una réplica virtual precisa de un sistema físico, proceso o producto. En el contexto aeroportuario, esto significa la creación de un modelo digital completo que representa todos los aspectos de un aeropuerto, desde la infraestructura hasta las operaciones, pasando por la gestión de pasajeros y carga. (Ruiz, 2024)

La aplicación más evidente de los gemelos digitales en los aeropuertos es la optimización de la eficiencia operativa. Mediante la simulación de escenarios y la predicción de resultados, los gestores aeroportuarios pueden identificar cuellos de botella y tomar medidas proactivas para mejorar el flujo de pasajeros y mercancías.

Sin embargo, el potencial de los gemelos digitales va mucho más allá de la simple optimización operativa. Estas herramientas también son fundamentales para mejorar la seguridad aeroportuaria. Al simular situaciones de emergencia, como incendios o evacuaciones, los

equipos de respuesta pueden ensayar y perfeccionar sus procedimientos, lo que resulta en una mayor preparación y capacidad de respuesta en situaciones reales.

Otro aspecto crucial es la gestión de activos. Los aeropuertos son enormes infraestructuras con una amplia gama de activos, desde pistas de aterrizaje hasta sistemas de iluminación. Mantener estos activos en óptimas condiciones es vital para garantizar la seguridad y la eficiencia operativa. Los gemelos digitales permiten un seguimiento exhaustivo del estado de los activos y predicen cuándo es necesario realizar mantenimiento preventivo, reduciendo así los tiempos de inactividad no planificados.

Además de mejorar la eficiencia operativa y la seguridad, los gemelos digitales también están revolucionando la experiencia del pasajero. Mediante el análisis de datos en tiempo real, los aeropuertos pueden personalizar los servicios y las ofertas según las preferencias individuales de los pasajeros, proporcionando una experiencia más cómoda y agradable.

Ahondando en la nueva era de innovación aeroportuaria, los gemelos digitales están allanando el camino para una mayor integración y colaboración entre todas las partes interesadas en el ecosistema aeroportuario. Desde las aerolíneas hasta las autoridades de control, pasando por los proveedores de servicios y los pasajeros, todos se benefician de una infraestructura aeroportuaria más eficiente, segura y centrada en el cliente.

Los gemelos digitales están transformando los aeropuertos en centros de innovación tecnológica donde la eficiencia, la seguridad y la experiencia del pasajero son prioritarias. Con su capacidad para simular, analizar y predecir el funcionamiento de los aeropuertos en tiempo real, los gemelos digitales están allanando el camino hacia un futuro aeroportuario más inteligente y conectado.

En el corazón del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, AENA, la principal empresa española de gestión aeroportuaria, ha desplegado un proyecto mediante Gemelos Digitales que está marcando un hito en la industria. Este proyecto emblemático representa un avance significativo en la gestión y operación aeroportuaria al introducir una réplica virtual precisa de todas las operaciones y sistemas del aeropuerto. A través de esta iniciativa, Aena se sitúa a la vanguardia de la transformación digital, adoptando tecnologías de última generación para mejorar la eficiencia, la seguridad y la experiencia del pasajero en uno de los aeropuertos más importantes de Europa.

La solución implantada permite a AENA modelar datos, integrar y gestionar sistemas, además de obtener información en tiempo real, facilitando la toma de decisiones. También posibilita la ubicación de fotos 360 grados, nubes de puntos, archivar un estado en el tiempo y su consulta en un visor 3D en la intranet del aeropuerto que proporciona un registro histórico de un activo o sistema específico.

Esta implantación de gemelo digital ha proporcionado a la empresa pública un mayor contexto para resolver desafíos, simplificando, entre otras cosas, sus flujos de trabajo. Durante el diseño del proyecto, la implantación de la tecnología GIS&BIM ha ayudado a AENA a evitar la duplicidad de datos y a optimizar los resultados finales del proyecto, dando a lugar a infraestructuras perfectamente conectadas e inteligentes. (Esri, s.f.)

La velocidad del cambio tecnológico no puede separarse de las amenazas de ciberseguridad. Los vehículos autónomos, la biometría y una huella en línea en crecimiento aumentan el área potencial para un ciberataque. Según el Informe de Riesgos Globales 2023 del Foro Económico Mundial, el "ciberdelincuencia" generalizada e inseguridad cibernética es un riesgo nuevo y elevado, clasificándose como el octavo riesgo más importante a nivel global en un período de dos y ocho años. (Oliver Wyman Forum , 2023)

Según el artículo "Se incrementan un 24% los ciberataques en aeropuertos" publicado en la revista "IT Digital Security" el 20 de marzo de 2024:

"En 2023, el sector del transporte fue víctima de hasta un 17% del total de los ataques DDoS, según registró el informe anual Threat Intelligence de TEHTRIS. Estos puntos de concentración son críticos para las regiones que los albergan. De hecho, los aeropuertos se han convertido en un objetivo prioritario en Europa desde que comenzó la guerra en Ucrania con más de 30 aeropuertos como víctimas de ataques DDoS.

La invasión rusa de Ucrania ha monopolizado e influido significativamente en los DDoS como nunca. Sin embargo, mientras que los últimos resultados anuales del informe de Domo revelaron una asombrosa tasa de 30 ataques DDoS por minuto, estos se están convirtiendo cada vez más en una táctica de distracción que precede a ataques de mayor impacto, que continúan creciendo en tamaño y complejidad."

Los aeropuertos albergan una extensa variedad de sistemas fundamentales que deben protegerse de éstas amenazas cibernéticas. Desde los sistemas de gestión de vuelos y control del tráfico aéreo hasta las redes de información destinadas a pasajeros y aerolíneas, estos sistemas son esenciales para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de un aeropuerto. Sin embargo, son igualmente objetivos codiciados por ciberdelincuentes, quienes podrían comprometer su seguridad, acceder a información confidencial o incluso interrumpir las operaciones. Comprender los riesgos y desafíos asociados con la ciberseguridad en los aeropuertos resulta vital (L., 2024).

Para proteger los entornos aeroportuarios, es imperativo implementar una infraestructura de Tecnologías de la Información (TI) robusta y adoptar un enfoque de "Zero Trust".

Los aeropuertos deben contar con sistemas de seguridad sólidos, tales como cortafuegos, sistemas de detección de intrusos y sistemas de monitoreo en tiempo real. Asimismo, resulta crucial mantener actualizados los sistemas y las aplicaciones, aplicando parches para corregir vulnerabilidades conocidas y realizando auditorías de seguridad de manera periódica.

El enfoque Zero Trust se basa en la premisa de no otorgar confianza automática a ningún usuario o dispositivo dentro de la red. La implementación de medidas de seguridad en cada punto de la red, como la autenticación de múltiples factores, el cifrado de datos y la segmentación de la red, reduce los riesgos de intrusiones y protege la integridad de los sistemas.

La conciencia en seguridad cibernética es esencial para la protección aeroportuaria. Es fundamental que los empleados reciban formación continua para reconocer y evitar amenazas en línea, como el *phishing* y el *malware*. Fomentar una cultura de seguridad y adoptar

prácticas óptimas, como el empleo de contraseñas robustas y la actualización de software, resulta crucial.

El concepto de Zero Trust es de vital importancia en los aeropuertos, dada la complejidad de la infraestructura informática y la interconexión de sistemas. Establecer medidas de seguridad en cada punto de la red, como la autenticación multifactorial y la segmentación, disminuyen el riesgo de intrusión y salvaguarda la integridad de los sistemas.

Los aeropuertos deben mantenerse al día con las últimas tendencias y vulnerabilidades en ciberseguridad, llevando a cabo evaluaciones de riesgos regulares, implementando políticas de seguridad claras y fomentando la colaboración con otras entidades del sector. Además, resulta esencial adoptar medidas técnicas, como el empleo de sistemas antivirus actualizados y el uso de redes privadas virtuales (VPN), para reforzar las defensas cibernéticas.

La industria de la aviación se encuentra dentro de un panorama geopolítico más amplio que incluye políticas intergubernamentales, preocupaciones de seguridad, intereses nacionales, economía y sociedad. Lograr un alineamiento dentro de la industria es primordial, y sin un entendimiento y enfoque comunes hacia las amenazas emergentes, los aeropuertos podrían tener dificultades, o incluso fracasar, para desarrollar medidas efectivas de resiliencia cibernética.

2.2 Sostenibilidad ambiental

La sostenibilidad ambiental se ha convertido en un imperativo en la industria aeroportuaria actual, que busca mitigar su impacto en el medio ambiente mientras avanza hacia el futuro. En este sentido, los aeropuertos del mañana están siendo diseñados y adaptados para operar de manera más sostenible, desde la actualidad hasta 2050. Una de las principales estrategias adoptadas por esta industria es la implementación de prácticas eco amigables, que abarcan desde la optimización del consumo de energía hasta la gestión eficiente de residuos.

En diciembre de 2019, la Comisión Europea presentó su Pacto Verde con el objetivo de lograr la descarbonización: neutralidad de carbono en todos los sectores y estados miembros de la UE para 2050. Para la aviación, este objetivo es aún más ambicioso que los de la Air Transport Action Group (ATAG), que buscan un crecimiento neutro en carbono a partir de 2020 y una reducción del 50% de las emisiones para 2050 en comparación con los niveles de 2005. Ambos objetivos ponen a la industria de la aviación bajo una presión creciente para descarbonizar, y hacerlo rápidamente.

Por pasajero, el sector de la aviación se ha vuelto más eficiente en carbono en las últimas tres décadas. Una mayor densidad y utilización de los asientos, mejoras operativas y avances tecnológicos como una mayor eficiencia en motores y estructuras de aviones han aumentado la eficiencia del combustible por pasajero-kilómetro de ingresos (el número de kilómetros recorridos por pasajeros en pagos) en aproximadamente un 50%. Apoyado por la optimización de vuelos, rutas de vuelo y rodaje en los aeropuertos, se espera que esta tendencia continúe.

Sin embargo, la creciente demanda de viajes aéreos ha llevado a un aumento significativo en las emisiones directas de CO_2 de la aviación, en un 34% en los últimos cinco años. El crecimiento de la población y la prosperidad aumentarán aún más la demanda, con previsiones que van desde el 3 hasta el 5% anual hasta 2050. Incluso si las mejoras de eficiencia, actualmente alrededor del 1.5% anual, se aceleran al 2% anual según lo previsto por la OACI, las emisiones de la aviación se duplicarán a aproximadamente 1.5-2 gigatoneladas de emisiones de CO_2 para 2050. Dadas las metas establecidas por la UE y la ATAG, esta proyección subraya que se requerirán medidas adicionales de descarbonización, también a corto plazo, ya aplicando nuevos combustibles como el SAF.

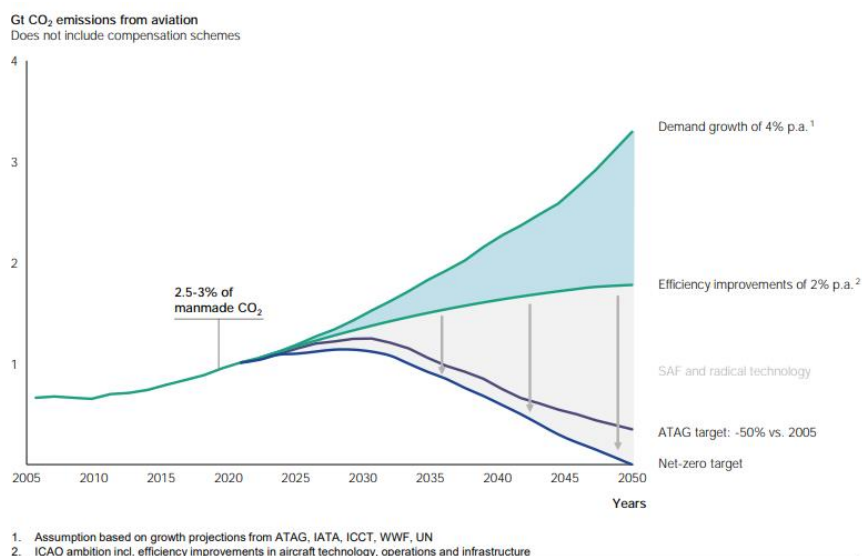


Ilustración 1. Proyección de emisiones CO_2 en los próximos años en la aviación. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020)

Entre las innovaciones más destacadas se encuentra el uso de tecnologías como el handling eléctrico, rodadura de aviones con motores eléctricos y pushback eléctricos. Estos avances no solo reducen las emisiones de carbono, sino que también disminuyen el ruido y mejoran la calidad del aire en los alrededores de los aeropuertos. Además, la transición hacia combustibles más limpios, como el hidrógeno (H_2), y la implementación de hidrogeneras son parte integral de la visión de sostenibilidad a largo plazo de la industria aeroportuaria. En este horizonte, se vislumbra una transformación hacia una aviación más respetuosa con el medio ambiente, donde la eficiencia y la innovación son clave para lograr un equilibrio entre el crecimiento económico y la protección del entorno. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020)

En 2040, estaremos a una década de distancia de la meta de emisiones netas cero. Se espera que los primeros aviones de hidrógeno lleguen alrededor de 2035, y hay muchas expectativas sobre el potencial de vuelos de larga distancia netos cero gracias a esta tecnología limpia. Al mismo tiempo, los fabricantes comenzarán operaciones comerciales de aviones eléctricos de corto alcance, pero las limitaciones de capacidad de las baterías probablemente excluyan los vuelos eléctricos de larga distancia. La propulsión eléctrica también será fundamental para limitar la huella de ruido de los aeropuertos, una queja común de la comunidad que podría agravarse a medida que aumenta la demanda de viajes aéreos. (Oliver Wynmann Forum , 2023)

En cuanto a los ingresos no aeronáuticos, las mejoras tecnológicas en la captura de carbono también podrían convertir a los aeropuertos en estaciones de energía verde. La captura directa de carbono del aire podría convertirse en una fuente de energía limpia no solo para los aeropuertos, sino también para los aviones. Sin embargo, la transición para convertirse en un "aeropuerto verde" requerirá una inversión sustancial: las instalaciones aeroportuarias existentes necesitarán ser modernizadas y se deberá construir nueva infraestructura de acuerdo con los estándares de carbono neto cero.

La adopción de SAF (combustibles de aviación sostenibles) será una oportunidad para que los aeropuertos definan un modelo operativo con los productores de energía. El mayor potencial para la descarbonización de los aeropuertos radica en aumentar la eficiencia operativa de las aerolíneas y reducir el consumo de combustible de las aeronaves. La ruta que toma un avión, la altitud a la que vuela y el clima a través del cual vuela afectan todas las emisiones de CO₂.

La gestión del tráfico aéreo tiene el potencial de tener un gran impacto en la eficiencia del combustible, y las tecnologías mejoradas y la implementación del "espacio aéreo de ruta libre" podrían aumentar la eficiencia y reducir las emisiones.

Con el objetivo de emisiones netas cero de carbono para 2050 en toda la industria, la sostenibilidad ambiental deberá ser el centro del modelo de negocio del aeropuerto. En algunos casos, los mecanismos de compensación de carbono seguirán siendo fundamentales para este compromiso.

Para 2050, los aeropuertos serán productores de energía y centros, proporcionando fuentes de energía a usuarios y comunidades, y contribuyendo a la descarbonización y a flujos de ingresos sostenibles. Por ejemplo, el Grupo Schiphol ha lanzado un importante programa para crear un aeropuerto completamente autónomo para 2050.

A través de esfuerzos coordinados por parte de gobiernos y organismos reguladores, existe la posibilidad de tener una identidad digital reconocida internacionalmente para todos los pasajeros para 2050.

En este capítulo se analizarán de forma individual las técnicas más viables para conseguir cumplir con el concepto “aeropuerto verde”, que se espera en su totalidad para 2050.

Como punto de partida, tenemos los conceptos “Handling Eléctrico” y “Green Pushback”, que están relacionados entre sí.

Los servicios de asistencia en tierra comprenden una serie de operaciones directamente vinculadas al transporte de pasajeros, tales como el manejo de equipajes y las labores de embarque y desembarque de aeronaves; así como también los servicios al avión, como la carga y descarga de equipaje, conocidos como tareas en la plataforma.

Para brindar estos servicios en la plataforma, Iberia Airport Services, por ejemplo, dispone de un inventario de 9,200 equipos, clasificados en dos categorías: motorizados (2,500 en total) y no motorizados (6,700). Actualmente, este inventario de Iberia está inmerso en un plan estratégico para ser electrificado (anteriormente impulsados por motores diésel) y modernizado, con el objetivo de actualizar la flota y lograr la meta de ser una empresa neutral en emisiones de CO2 para 2025.

Iberia Airport Services está ejecutando su plan de conversión para electrificar el 80% de su flota en colaboración con Serpista, una empresa especializada en este tipo de operaciones y en el mantenimiento de equipos de rampa.

Según lo explicado por Cristina de Grado, gerente de Cadena de Suministro de Aeropuertos de Iberia, en las instalaciones de Serpista (una empresa especializada en el mantenimiento de equipos de manipulación), los equipos de rampa son desmontados y sometidos a una renovación completa, desde la parte superior hasta el chasis. Posteriormente, y una vez renovados, después de ser lijados, pintados y adecuados, se les instalan los motores eléctricos y se completa toda la ingeniería relacionada (cuadro eléctrico, cableado y otras piezas). (Iberia, 2023)

A finales de octubre Iberia Airport Services dispondrá de ocho unidades de estos equipos, de los más avanzados y sostenibles del mercado: además de ser muy silenciosos, cada vehículo permitirá reducir en 23.000 kilos las emisiones de CO2, incrementar la seguridad operacional con un guiado más preciso y, al mismo tiempo, mejorar la puntualidad y ofrecer un mejor servicio a los clientes de Iberia Airport Services en los aeropuertos de Madrid y Barcelona.

Estos vehículos tienen una gran autonomía y su batería de 80V permite carretear hasta 28 aviones sin necesidad de recarga. El modelo que ha incorporado Iberia Airport Services (Mototok Spacer 8600) permite remolcar aviones de fuselaje estrecho como los de la familia A319, A320 y A321 con los que Iberia y Vueling realizan todos sus vuelos de corto y medio radio. (iProUP, 2020)

Según el artículo impulsado por Iberia el 11 de mayo de 2023 en el medio digital Business Insider, “Iberia Airport Services realizará una inversión de 112 millones de euros –todo un hito en la historia de la compañía– para adquirir 1.500 equipos adicionales, de los que el 92% de los mismos llevará motor eléctrico”.

A continuación, se analizarán nuevas tecnologías y combustibles sostenibles, el hidrógeno como combustible principal y la implementación de hidrogeneras para abastecer los aviones y el equipo eléctrico.





Comparison vs. kerosene	 Biofuels	 Synfuels	 Battery-electric	 Hydrogen
Commuter <19 PAX	No limitation of range	No limitation of range	Maximum ranges up to 500-1,000 km due to lower battery density	No limitation of range
Regional 20-80 PAX				
Short-range 81-165 PAX			Not applicable	Revolutionary aircraft designs as efficient option for ranges above 10,000 km
Medium-range 166-250 PAX				
Long-range >250 PAX				
Main advantage ✓	Drop-in fuel – no change to aircraft or infrastructure	Drop-in fuel – no change to aircraft or infrastructure	No climate impact in flight	High reduction potential of climate impact
Main disadvantage ✗	Limited reduction of non-CO ₂ effects	Limited reduction of non-CO ₂ effects	Change to infrastructure due to fast charging or battery exchange systems	Change to infrastructure

Tabla 1. Comparación de nuevos combustibles sostenibles. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020)

El hidrógeno puede ser utilizado como combustible para aeronaves cuando se quema en un motor de combustión de H_2 o se reacciona en una celda de combustible que alimenta motores eléctricos. A pesar de tener una densidad de energía gravimétrica tres veces mayor que el queroseno, el volumen relativamente mayor del hidrógeno requiere tanques más grandes a bordo de la aeronave y diseños ajustados de la aeronave.

El tamaño y el peso de los tanques de H_2 plantean importantes limitaciones para la alta demanda de energía en vuelos de largo alcance, lo que potencialmente reduce significativamente la rentabilidad para las aeronaves de largo alcance. Desde la perspectiva del suministro de combustible, el hidrógeno tiene otras ventajas: puede ser producido directamente a partir de energía renovable y tiene sinergias con otras tecnologías dependientes del hidrógeno.

Más allá de las emisiones en vuelo, la electricidad para aeronaves eléctricas con baterías y la producción de baterías también deben provenir de fuentes renovables para obtener una solución verdaderamente descarbonizada.

Se proyecta que la propulsión de hidrógeno sea dos o tres veces más efectiva que los combustibles sintéticos en la reducción del impacto climático de la aviación. Estimar el impacto climático de las nuevas tecnologías de propulsión de hidrógeno y nuevos combustibles como los synfuels en la aviación es un campo complejo y poco investigado.

En cuanto al diseño de aeronaves impulsadas por combustión de hidrógeno, es importante tener en cuenta la viabilidad y los costes siguientes.

Los componentes más importantes en una aeronave de hidrógeno son:

- Tanques de hidrógeno: El hidrógeno puede almacenarse como gas presurizado o en forma líquida. Mientras que el almacenamiento gaseoso puede ser adecuado para vuelos más cortos y está comercialmente disponible, este estudio se centra en los tanques de almacenamiento de hidrógeno líquido (LH_2) ya que requieren aproximadamente la mitad del volumen y, en consecuencia, son significativamente más ligeros que los tanques de hidrógeno gaseoso. Esto es especialmente importante para segmentos de corto a largo alcance, donde la aeronave llevará varias toneladas de hidrógeno por vuelo. En comparación con el queroseno, los tanques de LH_2 siguen siendo aproximadamente cuatro veces más grandes. Dado que el LH_2 necesita mantenerse frío y se debe minimizar la transferencia de calor para evitar la vaporización del hidrógeno, se requieren tanques esféricos o cilíndricos para mantener las pérdidas bajas. Para integrar eficientemente los tanques en la estructura de la aeronave, el fuselaje deberá ser extendido, lo que aumenta el peso operativo en vacío de la aeronave.
- Un sistema de combustible LH_2 para la distribución, vaporización y alimentación de LH_2 a las celdas de combustible o turbinas: El LH_2 requiere enfriamiento criogénico hasta 20 grados Kelvin. Estas temperaturas deben ser manejadas por tuberías, válvulas y compresores; se debe mantener bajo el vaporizado y evitar la fuga y fragilidad del material.
- Celdas de combustible (para aeronaves con celdas de combustible): En una aeronave con celdas de combustible, el hidrógeno se convierte en electricidad que luego impulsa un motor eléctrico y un ventilador o hélice. Las celdas de combustible de intercambio protónico de baja temperatura (PEM) son las más avanzadas y adecuadas para la aviación en la actualidad. Agregar un almacenamiento de energía como una batería a este sistema ayuda a garantizar un seguimiento rápido de la carga y la reducción de picos de potencia para optimizar el tamaño del sistema de celdas de combustible.
- Turbinas de combustión directa de hidrógeno (para la combustión de H_2): En las aeronaves de combustión de H_2 , el LH_2 se quema directamente en una turbina, de manera similar al queroseno, para crear empuje. El uso de enfriamiento criogénico del combustible se espera que aumente ligeramente la eficiencia (40 a 50% de valor calorífico inferior [LHV]) en comparación con los motores convencionales. Este estudio también considera un sistema híbrido de turbinas de H_2 y sistemas de celdas de combustible. Un sistema así podría optimizar las mayores densidades de potencia de las turbinas con las mayores eficiencias y menor impacto climático de los sistemas de celdas de combustible.

Los desarrollos tecnológicos más importantes requeridos para las aeronaves propulsadas con H_2 son:

- La masa de los tanques de LH_2 debe reducirse en un 50 % en comparación con los prototipos actuales. Hay varios mecanismos para reducir la masa de los tanques requeridos, incluyendo: requisitos de evaporación en tierra, que están determinados por regulaciones de seguridad; efectos de escala para volúmenes más grandes; diseños avanzados de tanques que se integran en el fuselaje de la aeronave; y el uso de materiales livianos para paredes de tanques doblemente aisladas y aislamiento. La masa del tanque se expresa mediante el índice gravimétrico y se define como el peso de la masa de combustible en relación con el peso total del tanque de LH_2 lleno con el máximo de combustible. Los últimos conceptos para aeronaves de pasajeros tienen un

índice gravimétrico de hasta el 20%. Para aeronaves de corto alcance, se debe lograr un índice del 35%, para aeronaves de largo alcance, del 38%. Cualquier mejora en esta área reduce el peso y el volumen de la aeronave, lo que reduce la demanda de energía y, por lo tanto, mejora la economía de construcción y operación del avión.

- La distribución de combustible segura y confiable y los componentes son críticos en la aviación propulsada por H_2 . Los sistemas seguros y confiables que también optimicen la gestión del calor no existen hoy y deben ser desarrollados, probados exhaustivamente y certificados para la aviación comercial.
- Los sistemas de propulsión LH_2 deben ser desarrollados para una operación segura durante una larga vida útil. Las turbinas de H_2 deben ser optimizadas para el impacto climático con emisiones de NO_x muy bajas al mismo tiempo que son altamente eficientes en la generación de empuje. La nueva tecnología de sistemas de celdas de combustible necesitará lograr hasta dos o tres veces más densidad de potencia del sistema que los sistemas de celdas de combustible actuales, con una densidad mejorada de 1.5-2 kilovatios por kilogramo (kW/kg). Este nuevo diseño para el sistema de celdas de combustible se proyecta que opere con eficiencias de hasta el 55 al 60% (LHV). Para calificaciones de potencia más altas en las clases de megavatios, el enfriamiento de los sistemas de celdas de combustible requiere intercambiadores de calor optimizados volumétricamente.

Los aspectos económicos (coste total de propiedad) de las aeronaves de hidrógeno dependen principalmente de los costes del combustible y de las propias aeronaves de hidrógeno. Para comparar los costes de las aeronaves, es necesario considerar los costes totales de propiedad (TCO) de una aeronave. En comparación con las aeronaves de queroseno, las aeronaves de hidrógeno tienen costes diferentes para el combustible y la infraestructura relacionada, la propia aeronave y las operaciones. La comparación para los combustibles sintéticos es más simple, ya que solo los costes del combustible y la infraestructura de suministro relacionada difieren de las aeronaves convencionales. En este caso, los costes del combustible incluyen todos los costes de producción del combustible y la infraestructura requerida para distribuir, almacenar y repostar los aviones.

Para una aeronave de corto alcance en 2035, los costes aumentarían en aproximadamente un 25 % en comparación con una aeronave de queroseno ajustada a la tecnología de 2035. Las principales diferencias de costes provienen de los costes de energía más altos.

- Los costes de energía dependen del coste del combustible y la energía requerida para impulsar la aeronave. Las aeronaves de hidrógeno suelen ser algo más pesadas y/o voluminosas, lo que requiere más energía para impulsarlas. El hidrógeno también es más caro en su producción en comparación con el queroseno, aunque se espera que su coste disminuya rápidamente. En 2050, se espera que los precios del combustible LH_2 se acerquen a los del queroseno debido a la mayor demanda de LH_2 y las mejoras en los costes de producción asociados. Si bien los costes de los combustibles sintéticos también disminuirán con el tiempo, seguirán siendo estructuralmente más caros que los costes del hidrógeno, ya que requieren un paso adicional en el proceso. Los costes del combustible también dependerán de la demanda de energía cambiada para las aeronaves propulsadas por H_2 en comparación con las aeronaves convencionales de referencia.
- Los CAPEX de la aeronave y los costes de mantenimiento. Se espera que los CAPEX de las aeronaves de H_2 sean más altos que los de las aeronaves convencionales. Esto se

debe principalmente a los costes de la estructura del tanque de LH_2 que está integrada en el fuselaje, la mayor complejidad de la distribución de combustible, los mayores costes de propulsión y el mayor tamaño de la aeronave. Los costes totales de mantenimiento para las aeronaves de H_2 podrían aumentar debido al mayor tamaño del fuselaje y los tanques de LH_2 que podrían requerir más revisiones, especialmente en los primeros años de introducción de aeronaves de LH_2 . A largo plazo, los costos de mantenimiento del sistema de propulsión podrían disminuir.

- Otros costes, incluidos los ciclos de vuelo. Las evaluaciones actuales muestran que los tiempos de repostaje de las aeronaves de H_2 podrían ser más largos que los de las aeronaves convencionales. Los tiempos de cambio aumentarían y se podrían realizar alrededor del 5 al 10 % menos de ciclos de vuelo con la misma aeronave. Esto tendría un efecto especialmente pronunciado en los costes de CAPEX de la aeronave y en los costes de tripulación, que podrían aumentar ya que las aeronaves de H_2 potencialmente realizan entre un 5 y un 10 % menos de vuelos por año. Sin embargo, debería ser un objetivo importante de I+D desarrollar tecnología que permita tiempos de repostaje competitivos con LH_2 en comparación con los combustibles sintéticos hasta que las aeronaves de hidrógeno estén comercializadas. Las tarifas de aeropuerto y control de tráfico aéreo dependen principalmente del peso máximo de despegue (MTOW) de una aeronave. Para las aeronaves de LH_2 , el MTOW será mayor y se espera que las tarifas sean ligeramente más altas. Sin embargo, esto asume que las tarifas de aterrizaje seguirán dependiendo principalmente del MTOW en el futuro.

Como punto final de este capítulo de sostenibilidad ambiental para cumplir con una descarbonización total, se va a analizar la posible infraestructura que tendrán los *aeropuertos verdes*, desafíos en el suministro y repostaje de hidrógeno líquido. Más allá de las implicaciones para el diseño de aeronaves discutidas en el capítulo anterior, cambiar a LH_2 tendría importantes repercusiones en la cadena de suministro de combustible, la infraestructura y operaciones del aeropuerto, y el sistema de viajes aéreos en su conjunto.

Para comprender las posibles implicaciones para la cadena de suministro de combustible, primero debemos entender cómo podría ser la cadena de suministro de LH_2 . El hidrógeno debe provenir de una fuente baja en carbono para ser utilizado para la descarbonización. Las formas más comunes de producir hidrógeno de bajo carbono son la electrólisis del agua, que es libre de carbono si es alimentada por energía renovable y carbono neutral si se produce mediante reformación de gas natural combinado con captura y almacenamiento de carbono. Ambas son vías concebibles y podrían existir en paralelo.

Una vez producido, el hidrógeno necesitaría ser comprimido o licuado y luego distribuido a los aeropuertos, ya sea a través de remolques de camiones de hidrógeno líquido o comprimido para aeropuertos más pequeños, o a través de un oleoducto para aeropuertos más grandes. También puede ser enviado en forma líquida o convertido. Una vez en el aeropuerto, el hidrógeno sería licuado (si aún no está licuado en la fuente), almacenado y finalmente transferido a los aviones a través de camiones de repostaje o un método alternativo de repostaje como plataformas de repostaje o puntos de "estación de combustible" para aeronaves. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020)

Las hidrogeneras, o surtidores de hidrógeno, funcionan como una estación de abastecimiento de este combustible. El objetivo es que España cuente con una red superior a 100 hidrogeneras para 2030. Extrapolando el concepto al mundo aeronáutico sería necesario que cada *aeropuerto verde* contase con las hidrogeneras necesarias para alimentar los aviones eléctricos.



Ilustración 2. Hidrogenera en Zona Franca de Barcelona, primera instalación comercial de producción y dispensación de hidrógeno renovable en España. (Iberdrola, 2023)

Aunque los desafíos del lado del suministro serán significativos en 2050, no serán únicos en un futuro sistema energético que depende parcialmente del hidrógeno. Los desafíos que afectan la infraestructura y las operaciones de repostaje en los aeropuertos son únicos, sin embargo, y requerirán un desarrollo y planificación significativos para superarlos. Estos incluyen la búsqueda de tecnologías de repostaje escalables, la optimización de las prácticas de repostaje y la reconfiguración de la infraestructura aeroportuaria para introducir sistemas de combustible paralelos. ¿Es el suministro de hidrógeno mediante hidrogeneras viable en cuanto a costes en infraestructuras aeroportuarias?

Para 2040, los sistemas de repostaje criogénico para LH_2 parecen ser técnicamente inviables en cuanto a costes, ya que su coste puede ser hasta cinco veces mayor que el de los sistemas de hidrantes convencionales. Dado este hecho, la tecnología de repostaje de LH_2 más viable a corto plazo parece ser el camión de repostaje de LH_2 . Estos camiones funcionan bien en aeropuertos más pequeños, donde hoy se utilizan camiones de repostaje de queroseno, pero en aeropuertos más grandes podrían aumentar significativamente el tráfico terrestre y plantear desafíos logísticos.

Por ahora, la solución óptima no está clara. Plataformas móviles de repostaje más grandes o incluso parcelas de estaciones de repostaje lejos de las puertas de embarque pueden ser una opción. Esto último puede parecer técnicamente inviable en cuanto a costes dados por los tiempos de rotación requeridos hoy en día, pero se podría argumentar un caso económico para las parcelas de estaciones de repostaje si optimizan en gran medida los tiempos de repostaje. A largo plazo, los sistemas de oleoductos de hidrantes de LH_2 pueden convertirse en una solución viable.

También será necesario revisar las prácticas y operaciones de repostaje. A diferencia de los segmentos de aeronaves de corto alcance, los tiempos de repostaje para aeronaves de largo alcance pueden extenderse más allá de sus tiempos de rotación estándar actuales. Por ejemplo, si un avión de largo alcance tiene un tanque que está vacío en un 75%, repostar el tanque con queroseno usando dos mangueras podría llevar hasta 65 minutos, asumiendo una

tasa de flujo de 900 litros por minuto por manguera. Suponiendo las mismas tasas de flujo para LH_2 , incluso con el doble de mangueras, el repostaje llevaría 140 minutos. El tiempo de rotación estándar para un gran avión jumbo es de aproximadamente 120 minutos hoy en día. Será importante realizar más investigaciones y desarrollo para desarrollar soluciones económicas que permitan aumentar las tasas de flujo de repostaje por encima de los 1,000 litros por minuto por manguera. Para el repostaje de grandes aeronaves, las soluciones de tanques automatizados que pueden manejar pesos más altos de mangueras para tasas de repostaje más altas incluso podrían permitir tasas de flujo en múltiples de las de queroseno de hoy en día.

Además de los tiempos de repostaje más largos, no está claro si todas o algunas de las operaciones habituales de rotación podrían realizarse en paralelo. En primer lugar, duplicar la cantidad de mangueras causará restricciones espaciales adicionales alrededor de la aeronave y dejará menos espacio para que se realicen otras operaciones. Además, no está seguro qué operaciones de rotación serían permitidas desde una perspectiva regulatoria y de seguridad. Los expertos coinciden en que se necesitarán desarrollar nuevas regulaciones para garantizar un manejo adecuado y seguro del LH_2 a baja temperatura y sus propiedades únicas, como por ejemplo, la posible ignición espontánea al contacto con el agua, el riesgo de asfixia y la dispersión vertical. El impacto en aspectos como las zonas libres de ignición alrededor de los camiones de repostaje aún no está claro.

Por ejemplo, algunos expertos sugieren que el perímetro requerido alrededor de los camiones de repostaje podría ser incluso más pequeño, ya que el LH_2 no formaría un charco en el suelo sino que evaporaría hacia arriba en el aire. Esto muestra que las consideraciones de seguridad siguen siendo altamente preliminares y deben ser refinadas mediante una mayor investigación y pruebas en el terreno. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020)

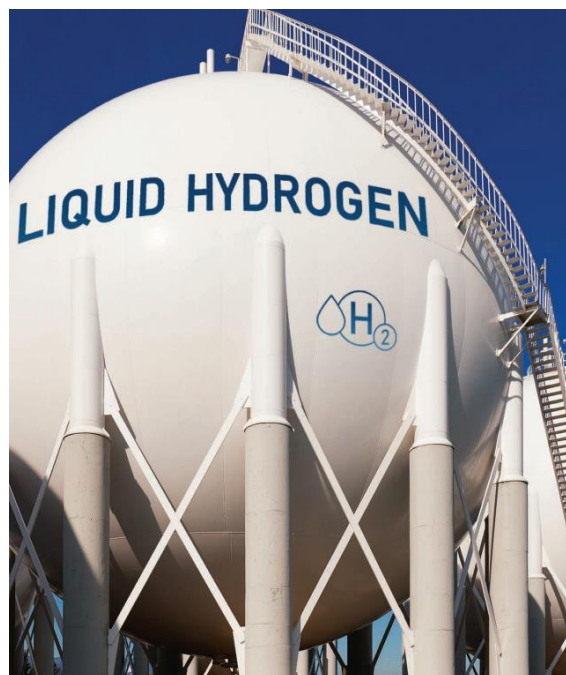


Ilustración 3. Tanque de hidrógeno líquido. (Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen, 2020)

En conclusión, si bien el hidrógeno emerge como un candidato prometedor para impulsar la aviación hacia la descarbonización, su viabilidad como combustible principal para aeronaves viene acompañada de desafíos significativos en la implementación de las infraestructuras aeroportuarias necesarias. La transición hacia el hidrógeno como combustible de aviación requerirá un enfoque meticuloso en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento, distribución y repostaje, así como una planificación estratégica para adaptar las operaciones aeroportuarias. Aunque la producción y el uso del hidrógeno ofrecen una ruta hacia la reducción de emisiones de carbono en la aviación, su adopción a gran escala exigirá una colaboración estrecha entre la industria, los gobiernos y los reguladores para superar los desafíos técnicos, logísticos y económicos que se presentan en el camino hacia una aviación más sostenible.

2.3 Mejora de la experiencia del pasajero

La era digital ha transformado radicalmente la forma en que los viajeros experimentan el mundo, y en este contexto, la conectividad digital se ha vuelto un pilar fundamental para mejorar la experiencia del pasajero. Los aeropuertos, conscientes de esta evolución, están realizando significativas inversiones en infraestructuras que incluyen Wi-Fi de alta velocidad, aplicaciones móviles personalizadas y tecnologías innovadoras diseñadas para proporcionar a los pasajeros acceso a información vital y servicios mientras transitan por las instalaciones.

En un esfuerzo por ofrecer experiencias más fluidas y satisfactorias, los aeropuertos están enfocados en optimizar la experiencia del usuario en todos los puntos de contacto. Esto implica desde la creación de espacios más confortables y atractivos hasta la implementación de sistemas inteligentes que provean información en tiempo real sobre vuelos, tiempos de espera y servicios disponibles.

En este contexto, exploraremos cómo la conectividad digital está transformando la manera en que los pasajeros interactúan con los aeropuertos, mejorando su experiencia de viaje desde el momento en que llegan al aeropuerto hasta su destino final.

Con un impulso hacia la sostenibilidad y alejándose del transporte en vehículos personales, los aeropuertos del 2030 necesitarán estar conectados a redes de transporte público más amplias, lo cual será especialmente importante para los tipos de aeropuertos urbanos. Los operadores aeroportuarios deberán coordinarse con los operadores de transporte local para priorizar operaciones eficientes.

El desarrollo de infraestructura ferroviaria hacia y desde los aeropuertos ofrece grandes oportunidades para la conectividad intermodal; y a medida que se reduce el tiempo de traslado, los métodos de transporte público se volverán más atractivos.

Dado que el aeropuerto es el primer y último punto de contacto para los viajeros, la experiencia en el aeropuerto desempeña un papel significativo en cómo los visitantes recuerdan un destino; por lo tanto, hacer que la experiencia del pasajero sea fluida y placentera es importante. Salas de espera cómodas, una variedad de opciones de comida y bebida, y Wi-Fi gratuito se están convirtiendo cada vez más en requisitos indispensables para los consumidores. Con un mayor enfoque en la experiencia del cliente, los aeropuertos necesitarán aprovechar y monitorizar oportunidades para obtener retroalimentación y asegurarse de satisfacer las demandas de los pasajeros.

Por ejemplo, la conversión de credenciales de viaje como pueden ser tarjetas de embarque, DNI, pasaportes... a credenciales digitales proporcionarían una forma más segura de compartir información verificable, lo que llevaría a una mayor garantía para los viajeros, tiempos de procesamiento más cortos en el aeropuerto y una mayor eficiencia para todo el ecosistema.

Al reservar un vuelo, las preferencias pueden ser compartidas para agilizar el proceso de reserva. Cuando se trata de una solicitud y revisión de VISA, se pueden rellenar automáticamente los formularios de solicitud de visa con información de confianza. Sin riesgo de errores tipográficos, la visa se recibirá como otra acreditación.

Para el check-in del equipaje, se vinculará a una identidad previa, la cual será monitorizada para una fácil entrega al pasajero adecuado.

En la puerta de salida, habilitar el embarque biométrico mejoraría los tiempos de salida por pasajero. También en casos de inmigración, si el pasaporte y la visa se comparten con antelación, el embarque biométrico proporcionará una entrada sin mayor complicación.

Al llegar al hotel, la habitación estará adaptada a las preferencias de usuario compartidas anteriormente, y por supuesto, el acceso a la habitación del hotel se hará vía teléfono móvil sin necesidad de una llave física o interacción con el personal del hotel.

Para el 2030, se espera que la integración de nuevas tecnologías permita a los aeropuertos ofrecer a los pasajeros servicios personalizados y bajo demanda para mejorar su experiencia en el aeropuerto. Un ejemplo de esto es la implementación de la cola virtual en lugar de unirse a una fila física. El Aeropuerto Internacional de Seattle-Tacoma (SEA) y el Aeropuerto Internacional de Los Ángeles (LAX) están entre los primeros aeropuertos en América del Norte en haber probado este sistema, mientras que algunas aerolíneas, como Delta, han utilizado una herramienta similar para notificar a los pasajeros cuando deben abordar su asiento.

Los aeropuertos están explorando nuevas formas de hacer negocios a través del comercio electrónico, con plataformas que ofrecen experiencias bajo demanda como la entrega de alimentos y bebidas a tiempo para el vuelo, la creación de experiencias de marca dentro de la terminal y ofrecer oportunidades para comprar productos libres de impuestos en línea para ser entregados en el destino.

En 2040, el aeropuerto deberá estar conectado de múltiples maneras. La movilidad aérea urbana (UAM) y las aeronaves de despegue y aterrizaje vertical eléctrico (eVTOL) ofrecerán un sistema de transporte integrado, accesible y compartido que opera de manera fluida tanto en el transporte terrestre como aéreo para conectar los aeropuertos con las ciudades circundantes. Los aeropuertos necesitarán invertir en infraestructura para integrar este nuevo modo de transporte en sus modelos operativos y de negocios, y esta infraestructura podría requerir la reutilización de estacionamientos de aeropuertos. Sin embargo, el transporte privado hacia el aeropuerto seguirá siendo necesario, por lo que la infraestructura deberá adaptarse a las tendencias de vehículos eléctricos y automatizados, incluida la instalación de estaciones de carga que puedan utilizarse tanto para estacionamiento en el aeropuerto como para servicios de transporte.

Según el artículo *The Evolution of Airports* que hacemos referencia en capítulos anteriores, Stefan Schulte, CEO de Fraport AG, señaló que *"el transporte público probablemente se volverá mucho más individualizado, en el sentido de que podrás pedir un autobús como individuo y habrá otras cuatro o cinco personas contigo, por lo que será algo entre un automóvil y un carril de autobús oficial"*.

La experiencia en el aeropuerto en 2040 será más orientada al servicio, incluyendo estacionamiento acelerado, planificación de viajes integrada, seguridad rápida y orientación personalizada. Gert-Jan De Graaff, CEO de Brisbane Airport Corporation, señala que

"desarrollarán campus urbanos vibrantes que incluirán oficinas, hoteles, ofertas comerciales, pero también entretenimiento y diferentes modos de transporte hacia el aeropuerto".

Se realizarán inversiones en la construcción de redes más amplias de negocios y actividades interrelacionadas para crear ciudades aeroportuarias o "aerotrópolis". Estas son áreas metropolitanas que están centradas, en términos de economía e infraestructura, alrededor de un aeropuerto, utilizando terrenos no adecuados para el desarrollo residencial. Los usos del suelo incluyen centros comerciales, complejos de entretenimiento y arenas para eventos, instalaciones de salud y recreación, hoteles, infraestructura de comercio electrónico e incluso escuelas. En la actualidad, Asia lidera este campo, con China incorporando estos principios en más de cien aeropuertos. El Aeropuerto Changi de Singapur ya cuenta con "Jewel", una atracción en forma de cúpula que alberga una mezcla dinámica de comercio minorista, ocio, jardines y servicios hoteleros, además de operaciones aeroportuarias. Mientras tanto, Oriente Medio está alcanzando. El Aeropuerto de Riyadh se expandirá para convertirse en una aerotrópolis con instalaciones de apoyo al aeropuerto, instalaciones residenciales y recreativas, y puntos de venta al por menor, para dar cabida a 185 millones de pasajeros para el 2050.

Este modelo de aerotrópolis se trata de transformar el aeropuerto en un destino en lugar de simplemente un lugar para tomar un avión, y también se trata de desvincular los ingresos del aeropuerto del transporte aéreo y construir una resiliencia comercial.

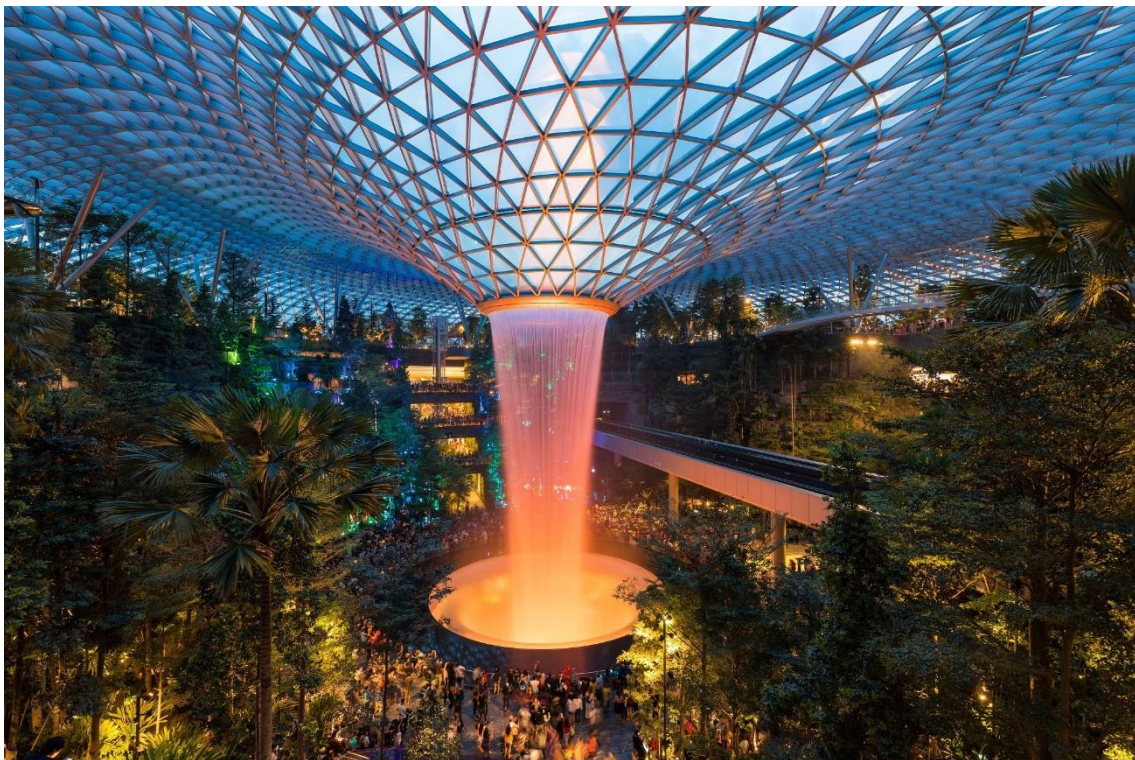


Ilustración 4. Cascada central del complejo comercial del aeropuerto de Changi, Singapur. (Aeropuerto Jewel Changi, s.f.)



Ilustración 5. Iniciativa Aeropuerto Internacional Rey Salman en Riad. (Xataka, 2024)

Para el año 2050, los aeropuertos serán modelos de viaje conectado e integrados. Serán centros comunitarios para enlaces urbanos y regionales, así como para diferentes formas de transporte masivo, que incluirán trenes de alta velocidad, vehículos autónomos, hyperloop, taxis aéreos, entre otros.

Se espera una gestión de flujo de sistemas más integrada, equilibrando la demanda y la capacidad en todas las operaciones aeroportuarias. El Aeropuerto de Ginebra (un aeropuerto urbano) ya está utilizando el sistema de toma de decisiones colaborativas del aeropuerto (A-CDM) para evitar que los aviones permanezcan inactivos en la pista cuando su puerta de llegada no está lista. En el futuro, el aeropuerto planea llevar el A-CDM un paso más allá e integrar la toma de decisiones en el sistema de transporte público para incluir autobuses y trenes.

En lugar de tener un sistema de carreteras y ferrocarriles que dejen a los pasajeros en la puerta principal de una terminal principal, las puertas podrían alcanzarse directamente a través de trenes hyperloops o “pods”. O, como en el Aeropuerto Internacional de Incheon, la introducción de vehículos eléctricos autónomos podría transportar a los pasajeros alrededor del aeropuerto para conexiones más fluidas.



Ilustración 6. Aeropuerto de Seúl Incheon. (World Airport Awards, 2023)



Ilustración 7. Cápsulas selladas al vacío ultrarrápidas. (Freepik, s.f.)

Para el año 2050, las terminales sin colas serán una realidad, con procesos personalizados y pre-planificados que crearán un viaje sin contratiempos desde el hogar hasta el destino, y de regreso. Los pasajeros utilizarán sus dispositivos personales o aplicaciones de viaje y aeropuertos para controlar cada aspecto de su viaje y experiencia.

El procesamiento remoto y los *pods* de procesamiento único, que podrían estar disponibles durante el tiempo de tránsito hacia el aeropuerto, simplificarán los procedimientos de embarque y seguridad. Esto será crucial porque los turistas cada vez toman vacaciones más frecuentes pero más cortas, y esperan recibir un mejor servicio mientras pasan menos tiempo en el aeropuerto.

2.4 Conectividad intermodal

1. Tecnología hyperloop
2. Aero taxis y coches voladores
3. "Pods"

Tecnología Hperloop:

Ésta cápsula supersónica o cápsula ultrarrápida es un hipotético modo de transporte de pasajeros y/o carga propuesto por Tesla y SpaceX, utilizado para describir un diseño de tren en tubos a baja presión. A partir del tren al vacío de Robert Goddard, un Hyperloop es un tubo o sistema de tubos sellados, a través de los cuales un objeto puede viajar sin resistencia al aire o a la fricción, transportando personas u objetos a alta velocidad, reduciendo drásticamente los tiempos de viajes en distancias de medio alcance. (Wikipedia, la enciclopedia libre, s.f.)

El viaje en avión de Berlín a Madrid, con sus tres horas de duración más las esperas en el aeropuerto, podría reducirse a poco más de una hora con la llegada del hyperloop. Este medio de transporte ultrarrápido, propuesto hace una década por Elon Musk, ha generado numerosos proyectos que, o han fracasado, o aún no han producido resultados definitivos. Sin embargo, Europa no pierde la esperanza y ha inaugurado una infraestructura a principios de este año 2024, para que varias empresas pongan a prueba sus diseños.

En la provincia holandesa de Groningen se encuentra un largo tubo blanco de 420 metros de longitud y con tres terminales. Esta es la infraestructura de prueba presentada por el *Centro Europeo Hyperloop (EHC)*. El propósito de esta instalación es demostrar que todas las tecnologías en desarrollo funcionan adecuadamente, incluida la capacidad de cambiar de carril para dirigir los trenes hacia un lado u otro.

Zaragoza ha sido seleccionada como una de las ciudades europeas estratégicas para desplegar este transporte ultrarrápido en Europa. Junto a la capital aragonesa, otros nodos incluyen Róterdam, Ámsterdam, Berlín y Múnich. En estos nodos, se podrá viajar entre 700 y 1.000 km/h en tubos presurizados. Sin embargo, esta tecnología aún tiene mucho que demostrar antes de que pueda admitir pasajeros.

Más de 25 empresas colaboran en este proyecto público-privado de Europa, el *Hyperloop Development Program (HDP)*, del cual forma parte el EHC. Su nueva instalación estará disponible para que cualquier empresa interesada pueda desarrollar y probar tecnologías Hyperloop, como la neerlandesa Hardt Hyperloop o la española Zeleros.

La infraestructura de prueba en el EHC, situada en la provincia de Groningen, está diseñada para simular condiciones del mundo real. Consiste en un tubo de 420 metros que se divide en dos secciones; en comparación, en Japón, su túnel de pruebas es de 53 kilómetros. La empresa Hardt Hyperloop comenzará sus primeras pruebas en las próximas semanas. "*Esta infraestructura nos permite demostrar tecnologías esenciales como la levitación magnética, la propulsión, la estabilización e incluso el cambio de carril, a velocidades de hasta 100 km/h*",

explica Marinus van der Meijs, cofundador y director de tecnología e ingeniería de esta compañía.

La tecnología Hyperloop se distingue de los trenes de alta velocidad en que no depende de vías o combustibles fósiles. Los vagones se desplazan como si volaran dentro de tubos. Al no haber fricción con las paredes del tubo, las velocidades que se pueden alcanzar triplican las de los trenes de alta velocidad. Esto se logra gracias a la utilización de imanes con un campo magnético permanente que hacen que las cápsulas se "levanten" 15 mm sin consumir energía. Esta tecnología convierte a los trenes en cápsulas presurizadas propulsadas por motores alimentados con energías sostenibles.

Dentro del tubo, el vehículo se estabiliza aprovechando la fuerza de los electroimanes, evitando así que roce las paredes del tubo y "descarrile" o se estrelle. Una de sus ventajas radica en que el sistema de suspensión apenas consume energía, pudiendo levantar el peso de un coche con el mismo gasto que el de una bombilla. Proyectos como el hyperloop europeo comparten esta base con otros proyectos, como los trenes Maglev, tan avanzados en países como China o Japón.

Para poner en movimiento el vagón, el sistema de propulsión se extiende por toda la vía y empuja el vehículo hacia delante utilizando un motor eléctrico lineal, basado en la misma tecnología que los de los coches eléctricos. Esto, junto con la suspensión electromagnética, impulsa el vehículo hasta alcanzar grandes velocidades, como si surfease una onda magnética, y después mantenerla requiere muy poca energía.

Al llegar a la estación, se aprovecha el mismo sistema para recuperar una cantidad significativa de energía, la cual se utiliza para propulsar el siguiente vehículo o se almacena en una batería.

Una serie de bombas a lo largo del túnel elimina el aire que se haya filtrado dentro del tubo para mantener la presurización necesaria para la circulación de la cápsula. Además, se incorpora un sistema para restaurar rápidamente la presión del túnel en caso de movimiento rápido y pérdida de presión dentro del vehículo, garantizando así la seguridad de los pasajeros. Los planes de Hardt incluyen instalar paneles solares de alto rendimiento a lo largo de la vía para alimentar la mayor parte del sistema. (Romero, 2024)

Aero taxis y coches voladores:

La movilidad del futuro contempla vehículos aéreos capaces de sortear las congestionadas vías terrestres. La mayoría de los prototipos en un estado avanzado de desarrollo son eVTOL, aerotaxis eléctricos de pasajeros capaces de despegar y aterrizar verticalmente, de los que hablaremos, por supuesto, en estos próximos párrafos.

Sin embargo, hay un nuevo modelo de coche volador en auge, ya que sobre el asfalto se comporta como cualquier otro automóvil, pero puede transformarse en un vehículo aéreo cuando su conductor lo requiera, volando y desplazándose de forma similar a un helicóptero.

El Model A, concebido de manera revolucionaria, ha logrado un hito histórico al ser el primero de su clase en obtener el permiso de vuelo de la rigurosa Federal Aviation Administration (FAA) de EE. UU.

Este certificado ha sido emitido luego de una exhaustiva evaluación de las capacidades y seguridad en vuelo del vehículo. No obstante, es un permiso restringido que limita, por el momento, su uso a pruebas experimentales a partir de 2025.

Desarrollado por la compañía Alef Aeronautics, el principal objetivo del Model A es ofrecer desplazamientos más rápidos, silenciosos y seguros para aliviar la congestión del tráfico en las áreas urbanas.

Es el único vehículo volador que puede conducirse como un automóvil convencional. Su sistema es totalmente eléctrico, con baterías que le otorgan una autonomía terrestre de 320 kilómetros y, en vuelo, ofrece un radio de acción de 177 kilómetros.

La cabina de mando cuenta con un mecanismo cardánico que se adapta a la posición de vuelo, mientras que las hélices se ocultan bajo la carrocería para ahorrar espacio, reducir el ruido y aumentar la seguridad durante las operaciones de vuelo, despegue y aterrizaje.

La seguridad se ve reforzada por sistemas principales triplicados u octuplicados para evitar fallos, así como por un chequeo constante en tiempo real de más de mil puntos y un paracaídas automático integrado que se activa en caso de pérdida de sustentación.

Antes de su llegada al mercado, el Model A ha recibido 440 reservas, a pesar de su precio final de 300.000 dólares (274.000 euros). Además, para 2035, Alef Aeronautics planea lanzar un segundo modelo, el Model Z, más grande y con capacidad para cuatro personas, con autonomías de 645 kilómetros por tierra y 320 en vuelo. (Soto, 2023)



Ilustración 8. Coche volador de Alef Aeronautics, Model A. (Lázaro, 2024)

Por otro lado, según la empresa Volocopter comunica en su página web [volocopter.com](https://www.volocopter.com), prevé su lanzamiento este 2024 *“Somos los primeros en traer taxis aéreos eléctricos a Europa. A partir de este año, lanzaremos nuestros servicios de taxis aéreos VoloCity en París, seguidos de Roma y otras ciudades a nivel global, ofreciendo a las personas una nueva forma de movilidad más conveniente.”*

Tan seguro como un avión comercial en el camino hacia la certificación con la Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea (EASA), el VoloCity está diseñado para cumplir con los más altos estándares de seguridad de la industria. Con unas emisiones cero en vuelo e impulsado por tecnología de batería, emite cero CO₂, óxido nítrico (NO_x) y otros contaminantes dañinos durante el vuelo.

Es notablemente silencioso en contraste con los helicópteros, lo que hace a éste taxi aéreo inaudible a una distancia de 120 metros dentro de dicho entorno.

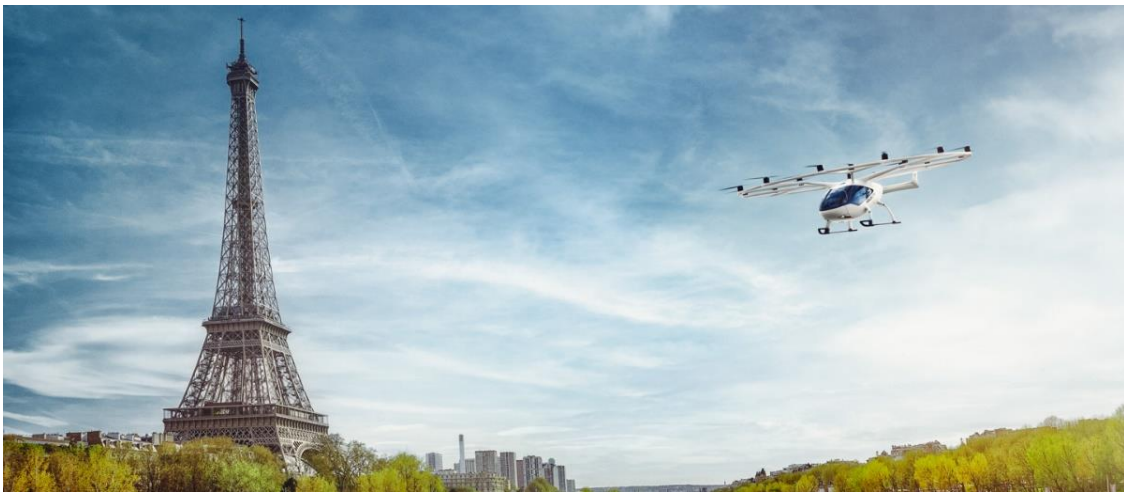


Ilustración 9. VoloCity air taxi en París. (Volocopter, 2024)

No obstante, todo este tipo de movilidad urbana necesita una infraestructura adecuada para poder generar los viajes de pasajeros. Al igual que los autobuses tienen paradas de autobús, y los aviones aeropuertos, Job Aviation ha diseñado un nuevo concepto denominado "VoloPort", que servirá como "estación" para su Volocopter actual y futuros modelos.

“Nuestro concepto de vertipuerto, el VoloPort, es un elemento clave de nuestro ecosistema. Comprendemos todos los requisitos y trabajamos en línea con las nuevas regulaciones para la Movilidad Aérea Urbana, así como con nuestros socios para ofrecer soluciones completamente integradas para ciudades de todo el mundo. Los vertipuertos son esencialmente puntos de embarque y desembarque para despegues y aterrizajes verticales. Como centros para nuestras aeronaves de pasajeros VoloCity y VoloRegion, estos vertipuertos también serán utilizados por otras aeronaves UAM que comparten el espacio aéreo inferior junto con las nuestras. Se posicionarán múltiples VoloPorts en áreas de alto tránsito dentro de una ciudad, como aeropuertos y estaciones de tren. Creemos que la experiencia en infraestructura que hemos acumulado en la empresa es un factor crucial para el éxito de la movilidad aérea urbana.”

El diseño del vertipuerto de Volocopter es eficiente en costos, modular y flexible, lo que significa que puede adaptarse para su uso en tierra, mar o en una plataforma elevada. Diseñado pensando en el entorno urbano, el VoloPort requiere una infraestructura mínima. Y su diseño modular ocupa no más espacio que dos canchas de tenis, que es mucho espacio para operaciones de vuelo.

Volocopter está trabajando en estrecha colaboración con la Agencia de Seguridad Aérea Europea (EASA) para compartir información crítica para el desarrollo de infraestructura UAM. Además, Volocopter está trabajando con varias autoridades de aviación civil (CAA) y con la Organización Europea para el Equipamiento de Aviación Civil (EUROCAE) para impulsar de manera proactiva el desarrollo de vertipuertos estandarizados para misiones de despegue y aterrizaje vertical en todo el mundo. En 2019, se reveló el primer VoloPort del mundo en Singapur. (Volocopter, 2024)



Ilustración 10. VoloPort en Singapur. (Volocopter, 2024)

“Pods”:

En septiembre de 2023, 15 socios de siete países europeos lanzaron "Pods4Rail", una colaboración de investigación financiada por la Unión Europea que pretende fundamentar el concepto de un servicio de movilidad digitalizado y descentralizado con interfaces multimodales a diferentes modos de transporte para llevar a cabo un concepto de cadena de transporte puerta a puerta basado en el ferrocarril para el 2025 y así contribuir a la transformación necesaria de la red ferroviaria europea.

En un mundo cambiante, el sector del transporte enfrenta desafíos complejos para el futuro: el cambio climático y la necesidad de protección ambiental, el cambio demográfico y la urbanización, el cambio en el comportamiento de movilidad en general, la escasez de trabajadores cualificados para operaciones ferroviarias y una creciente necesidad de eficiencia operativa. En particular, la demanda de soluciones sostenibles para el transporte de personas y mercancías nos obliga a replantearnos y encontrar nuevos enfoques e innovaciones. Pods4Rail tiene como objetivo aprovechar los avances en conectividad y automatización y la infraestructura ferroviaria existente para llevar el concepto de intermodalidad más allá de las ideas establecidas.



Ilustración 11. Concepto Pods4Rail. (FA7 PODS 4RAIL, 2024)

El sistema de pods intermodales basados en ferrocarril debería ser un vehículo autónomo, impulsado eléctricamente, y las unidades de transporte homologadas deberían estar diseñadas para personas o mercancías, respectivamente, y separadas de una unidad portadora específica. Junto con un sistema de coordinación de pods y gestión de movilidad para operaciones y logística, así como todos los aspectos de una oferta de movilidad bajo demanda a través de diversos modos de transporte, esto representa una forma completamente nueva de experiencia de movilidad.

Al hacer un uso óptimo de los sistemas de transporte existentes y reducir al mínimo la necesidad de nueva infraestructura, se puede abordar la escasez de tierras y proteger los ecosistemas para las generaciones futuras. El transporte ferroviario, con su eficiencia, pero también con la infraestructura asociada, está destinado a ser la tecnología base para un sistema de movilidad de pods que esté firmemente orientado hacia las necesidades de las personas y al mismo tiempo tenga una capacidad extremadamente resiliente. Los pods podrían usarse para adaptar mejor el transporte ferroviario a las necesidades de los usuarios mediante una mayor flexibilidad, personalización y eficiencia, y para realizar un transporte ferroviario basado en necesidades, utilizando infraestructuras ferroviarias existentes o a reactivar en combinación con otros modos de transporte, como carreteras o teleféricos. Esto mejorará la calidad de vida en áreas urbanas y rurales y contribuirá a un futuro de movilidad más sostenible y eficiente.

A pesar de ser un proyecto en desarrollo, empezó en septiembre de 2023, presentó sus hallazgos iniciales en diciembre del mismo año y continúa publicando resultados en curso en su página web del proyecto. Hasta ahora, se puede consultar en el sitio web la definición del sistema (D2.1), una evaluación/comparativa de sistemas de movilidad multimodal disponibles y conceptuales (D2.2), análisis del marco legislativo y normativo (D3.1), y descripción de casos de uso (D4.1). (FA7 PODS 4RAIL, 2024)

¿Qué papel desempeñarían los Pods en los aeropuertos?

Los pods pueden ser una parte integral de la infraestructura de transporte de un aeropuerto, ofreciendo una solución de movilidad eficiente y conveniente para los pasajeros, así como para el transporte de carga y mercancías.

- **Acceso desde y hacia el aeropuerto:** Los pods pueden ser utilizados para conectar el aeropuerto con áreas urbanas circundantes, estaciones de tren, terminales de autobuses y otros puntos de transporte clave. Estos vehículos podrían proporcionar un transporte puerta a puerta para los pasajeros, llevándolos desde su ubicación actual directamente a la terminal del aeropuerto.
- **Conexión entre terminales:** En aeropuertos con múltiples terminales, los pods podrían ofrecer un servicio de transporte interno, permitiendo a los pasajeros moverse fácilmente de una terminal a otra, sin necesidad de caminar largas distancias o depender de autobuses o trenes.
- **Transporte de carga y mercancías:** Los pods también podrían utilizarse para el transporte de carga y mercancías dentro del aeropuerto, facilitando la logística interna, el transporte de equipaje entre terminales, la entrega de suministros y la gestión de la carga aérea.

- **Acceso a aparcamientos remotos:** En aeropuertos con aparcamientos remotos, los pods podrían proporcionar un servicio de transporte desde y hacia estas áreas, permitiendo a los pasajeros dejar sus vehículos en lugares más económicos y ser transportados directamente a la terminal.
- **Acceso a hoteles y centros de negocios:** Los pods podrían conectar el aeropuerto con hoteles cercanos, centros de convenciones y áreas de negocios, facilitando el transporte de pasajeros que llegan a la ciudad por motivos de negocios o turismo.
- **Mejora de la experiencia del pasajero:** Al ofrecer un transporte rápido, eficiente y cómodo, los pods pueden mejorar la experiencia general del pasajero en el aeropuerto, reduciendo los tiempos de espera y los desplazamientos, y proporcionando una opción de movilidad personalizada.

Los pods pueden desempeñar un papel crucial en la mejora de la conectividad del aeropuerto, proporcionando soluciones de transporte innovadoras y adaptadas a las necesidades de los pasajeros y de la logística aeroportuaria.

2.5 Arquitectura de infraestructuras

Con el creciente incremento del tráfico aéreo, los aeropuertos están realizando inversiones significativas en la expansión y modernización de sus infraestructuras. Este proceso abarca la construcción de nuevas terminales, ampliación de pistas y la implementación de mejoras operativas para hacer frente a un mayor flujo de pasajeros. La adopción de tecnologías inteligentes, tales como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de datos, está dando lugar al surgimiento de aeropuertos más avanzados y eficientes. Estos sistemas contribuyen a optimizar las operaciones aeroportuarias, mejorar la eficiencia y anticipar las necesidades de los viajeros.

Con la finalización el año pasado del proyecto de la nueva terminal en el Aeropuerto de Schiphol (Ámsterdam, Holanda), se marca un hito significativo en la evolución de esta importante infraestructura aeroportuaria. Esta nueva terminal representa un paso adelante en la capacidad y eficiencia operativa de Schiphol, uno de los aeropuertos más concurridos de Europa y un punto crucial en la red global de transporte aéreo. En este informe, exploraremos los aspectos clave de esta obra, desde su diseño arquitectónico hasta las tecnologías innovadoras implementadas, así como su impacto en la experiencia de los pasajeros y en las operaciones aeroportuarias en general.

El proyecto de ampliación de la Nueva Terminal se Schiphol fue adjudicado al equipo de Estudio Lamela en colaboración con KAAN Architecten, ABT e Ineco y se diseñó para acomodar a 14 millones de pasajeros al año.

El diseño de la nueva terminal se ha inspirado en las características distintivas de las terminales existentes y en el legado de funcionalidad, orientación al usuario y atención al detalle que ha caracterizado al aeropuerto durante las últimas cinco décadas. Todo ello se integra en un ambiente que busca transmitir calma, distinción y practicidad. Se ha dado prioridad al espacio, la luminosidad y las amplias vistas, que representan el ADN de Schiphol. El diseño sigue el concepto de una terminal única, con un enfoque claro en los flujos de pasajeros y la fluidez del tránsito.



Ilustración 12. Interior de la nueva terminal de Schiphol. (ESTUDIO LAMELA Arquitectos, 2023)

La estructura del edificio se presenta de forma sutil, dejando entrever el funcionamiento del esqueleto estructural. No hay soportes que obstruyan el espacio, y los pilares de la fachada y áreas funcionales del edificio sostienen la carga de la cubierta. Esta apertura estructural facilita cualquier modificación futura, demostrando así su sostenibilidad arquitectónica.

La calidad arquitectónica de la nueva terminal se refleja en todos sus aspectos. Se trata de un espacio diseñado de manera práctica y fácil de navegar para los viajeros, que a la vez ofrece un ambiente amplio, agradable y lleno de luz. La combinación de lo cotidiano y lo extraordinario crea un espacio de bienvenida excepcional. (ESTUDIO LAMELA Arquitectos, 2023)

Los pasajeros que parten conocen dos formas igualmente cualitativas de ingresar a la terminal. En coche o en tren. Al llegar en coche el pasajero experimenta la identidad de Schiphol, una imagen acogedora y atemporal de claridad. Al pasar por el puente, el interior de la terminal se despliega gradualmente mientras los visitantes obtienen una primera visión general de los procesos dentro de la terminal. Una vez dentro de la terminal se puede observar su organización integrada a través de las diversas áreas de una manera lúdica.

El hall de llegadas se convierte en un interior público como una extensión de una plaza central. En el vestíbulo de entrada, el techo se despliega en una corona de luz que brinda a los visitantes una sensación de exterior, en una similitud de poder mirar al cielo, donde los pasajeros tienen una última vista del lado tierra.

El equipaje se registra y los controles de seguridad se realizan junto a unos jardines interiores que ofrecen una sensación de naturaleza e infunden calma en la parte más estresante del proceso de viaje. Procedentes de la zona de control de seguridad, los pasajeros ingresan a la sala de embarque, donde tienen múltiples oportunidades para pasar el tiempo excesivo entre el check-in y la salida de su vuelo. Los pasajeros pueden esperar con vistas hacia el exterior y hacia los jardines interiores.

En el hall de recogida de equipaje, los pasajeros tienen una vista perfecta sobre el vestíbulo de entrada y la zona de check-in. La sala de recogida de equipaje se organiza por un lado, en una zona de recogida y por otro, un pasaje de doble altura que conduce directamente a la salida. Los pasajeros abandonan el edificio de la terminal dejando a



Ilustración 13. Jardines exteriores de la terminal de Schiphol. (ESTUDIO LAMELA Arquitectos, 2023)

sus espaldas tanto el interior como el exterior, fusionando una imagen confiada y acogedora, como un reflejo del viaje que se pretende demostrar a los usuarios que visitan la terminal A de Schiphol.

Sin mayor dilación, después de examinar en detalle la experiencia del pasajero en la nueva terminal del aeropuerto de Schiphol, está claro que el diseño reúne unos puntos comunes para el éxito, que son los siguientes:

1. Se requiere dar al pasajero una sensación de calma y libertad, con objetivo de disminuir el estrés que puede causar estar en un aeropuerto. Para ello, se utilizan recursos como colores claros, siendo el blanco predominante en la mayor parte del edificio. El color blanco está considerado el color de la pureza y la perfección y, en psicología, inspira limpieza, inocencia, reflexión, creatividad, apertura, crecimiento, imparcialidad y paz. También podemos observar tonos de grises o marrones claros, haciendo uso de la madera en algunos casos.
2. Paredes y techos acristalados, con el fin de transmitir transparencia, limpieza y amplitud. El pasajero puede sentir cómo entra la luz natural a través de los ventanales del techo, y va a disminuir la sensación de estar en un lugar cerrado.
3. Disminuir en todo lo posible los paneles de información, publicidad... buscando así un estilo minimalista que no estresará al pasajero. Así mismo, los paneles de información deben tener datos claros y concisos, es importante no confundir al personal con tanta sobrecarga de información.
4. Espacio diáfano en su mayoría, mínimo número de pilares y columnas, sin muchos pasillos ni muchas salas diferentes. Este estilo hace que la terminal parezca más amplia, limpia y acogedora.
5. Incluir jardines y espacios exteriores, plantas, flores, árboles... incluso fuentes o cascadas.

En la actualidad, el panorama de la expansión de terminales aeroportuarias presenta una serie de proyectos ambiciosos y significativos en diversas partes del mundo, en respuesta al crecimiento continuo del tráfico aéreo y a la necesidad de mejorar la infraestructura existente. Uno de los proyectos más destacados es la ampliación del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, confirmada en enero de 2024 con una inversión de 2.400 millones de euros, considerada como la mayor inversión en la última década en aeropuertos. Esta ampliación se centra en la mejora de la capacidad y la eficiencia operativa, así como en la modernización de las instalaciones para ofrecer una experiencia de viaje óptima a los pasajeros.

Las obras de ampliación del Aeropuerto de Madrid-Barajas están en marcha y el presidente del Gobierno, Pedro Sánchez, ha ratificado el compromiso de Aena con lo que constituye su mayor infraestructura, con una inversión de 2.400 millones de euros. El objetivo es incrementar la capacidad de 70 a 90 millones de pasajeros para el año 2031. Estas acciones, enmarcadas dentro del Documento de Regulación Aeroportuaria (DORA), se financian mediante las tarifas aéreas, al igual que cualquier otra actividad relacionada con el negocio aeronáutico de Aena.

El año pasado, el Aeropuerto de Madrid-Barajas registró un tráfico de más de 20 millones de pasajeros, superando a El Prat (Barcelona), con más de 16 millones, y a Palma de Mallorca, con más de 11 millones.

Las empresas de ingeniería y arquitectura seleccionadas para diseñar la ampliación de Barajas son Ayesa Ingeniería y Estudio Lamela, quienes ganaron en UTE (Unión Temporal de Empresas) el concurso de Aena el pasado mes de noviembre para redactar los proyectos de ampliación de

las terminales T4 y T4 Satélite. La adjudicación ascendió a 10,8 millones de euros, a cambio de los servicios de ingeniería necesarios para la ejecución de un plan de remodelación, cuya parte aeronáutica está presupuestada en 1.700 millones de euros. Este mismo consorcio también está elaborando el proyecto de remodelación de las terminales 1, 2 y 3 de la infraestructura más grande de la red de Aena. Con la renovación de todas las terminales y las mejoras en las pistas, se completan los 2.400 millones de euros mencionados.

Este esfuerzo inversor estará respaldado por el marco regulatorio en los periodos 2022-2026 (DORA 2) y 2027-2031 (DORA 3): 700 millones de euros para las terminales 1, 2 y 3, y los mencionados 1.700 millones de euros para la T4 y la T4S. Aena busca convertir a Barajas en un aeropuerto de referencia en Europa tanto para el transporte de pasajeros como para el de mercancías. Según estimaciones del Ministerio de Transportes, su contribución al Producto Interior Bruto de la Comunidad de Madrid aumentará del 9,3% actual al 12% tras la remodelación.

Otro proyecto relevante es la polémica ampliación del aeropuerto de El Prat en Barcelona. Este proyecto ha generado controversia debido a su impacto ambiental y urbanístico, pero se considera crucial para hacer frente al aumento de la demanda y mejorar la conectividad aérea de la región. Se espera que esta ampliación transforme El Prat en un hub aeroportuario de mayor relevancia a nivel europeo.

Además, Aena, la empresa gestora de aeropuertos en España, está llevando a cabo una inversión de 370 millones de euros en la ampliación del aeropuerto de Congonhas en São Paulo, Brasil. Este proyecto busca aumentar la capacidad y mejorar la eficiencia operativa de uno de los aeropuertos más importantes de América Latina, para satisfacer la creciente demanda de transporte aéreo en la región. (Magariño, 2024)

Estos ejemplos ilustran la tendencia global hacia la expansión y modernización de terminales aeroportuarias, evidenciando la importancia estratégica de la inversión en infraestructura aeroportuaria para el desarrollo económico y la conectividad global.

En este capítulo, nos enfocaremos en una de las tendencias más relevantes en este ámbito: el Internet de las Cosas (IoT) aplicado a infraestructuras inteligentes. Aunque el documento en su totalidad aborda nuevas innovaciones tecnológicas, aquí exploraremos de manera genérica cómo el IoT está transformando los aeropuertos en entornos más conectados y eficientes.

Gracias a soluciones de IoT en aeropuertos y revoluciones en conectividad como el 5G, la industria de la aviación podrá adoptar soluciones digitales y de TI más ágiles y escalables para mejorar su eficiencia operativa y fuentes de ingresos. Las soluciones de IoT en aeropuertos están liderando el camino hacia operaciones eficientes, seguridad visualizada y experiencias hiperpersonalizadas para los clientes.

Los aeropuertos tradicionales, que a menudo eran criticados por retrasos frustrantes y molestos controles de seguridad, han sido transformados masivamente en gigantescos centros de instalaciones urbanas que incluyen desde hospitalidad y comercio minorista privado hasta conciertos en vivo. Además, la llegada de tecnologías para clientes de nueva generación está automatizando aún más diversos aspectos de los viajes de los pasajeros y personalizando experiencias, para deleite de los pasajeros.

Una de estas tecnologías que está a punto de abrir un mundo de experiencias proactivas es el Internet de las Cosas (IoT), una fuerza innovadora que está lista para cambiar

fundamentalmente las operaciones aeroportuarias mediante sensores inteligentes, dispositivos conectados y análisis de datos.

El IDC indica un crecimiento gradual del mercado de IoT en Asia-Pacífico durante los años pronosticados (2021-2025) y se espera que alcance los 437 mil millones de dólares para el año 2025. La demanda de soluciones de IoT probablemente se verá impulsada por la creciente adopción de tecnologías como el seguimiento de ubicación, reconocimiento facial, trabajo remoto, logística de cadena de frío y seguimiento de vacunas, aplicaciones centradas en video y despliegue de 5G en la región. Por lo tanto, es probable que todas las industrias se beneficien de la adopción de IoT, incluida la aviación.

Hoy en día, más del 96% de los pasajeros llevan teléfonos inteligentes cuando visitan los aeropuertos. El aumento del uso de teléfonos inteligentes y la innovación en IoT presentan una oportunidad estratégica en la que los aeropuertos pueden analizar los comportamientos de los usuarios y utilizar los conocimientos para interactuar mejor con los clientes.

Los aeropuertos que invierten en IoT pueden mejorar la regulación del tráfico y ayudar a los pasajeros con la navegación interior utilizando mapas con balizas Wi-Fi. También están utilizando etiquetas electrónicas y sensores para rastrear y localizar el equipaje, lo que reduce el número de maletas perdidas. Además, la tecnología de reconocimiento facial está agilizando los controles de seguridad y reduciendo las colas. Estos avances ofrecen importantes beneficios en costos y eficiencia al transformar integralmente la experiencia del cliente. (Libson, 2022)

Sin embargo, esto es solo la punta del iceberg. Las posibilidades de implementar IoT en los aeropuertos son infinitas y se están desarrollando gradualmente. Aunque la perspectiva para 2050 pueda parecer lejana, los aeropuertos del mañana serán moldeados por el enfoque adoptado hacia los desafíos actuales.

El compromiso de la industria de alcanzar emisiones netas cero para 2050 requiere un esfuerzo coordinado y enorme en todo el ecosistema de la aviación. La gran mayoría de las emisiones de la aviación se deben a la combustión de combustible de las aeronaves, y reducir esto requerirá tiempo, financiamiento e innovaciones tecnológicas en la aeronavegación y la propulsión. Los combustibles de aviación sostenibles jugarán un papel a mediano plazo, pero el hidrógeno y las aeronaves eléctricas comenzarán a crecer en escala para 2040.

La biometría, el big data y otras tecnologías conectadas mejorarán la experiencia del pasajero al tiempo que permitirán a los aeropuertos gestionar las instalaciones de manera más eficiente. Esta es una situación emocionante, pero debido a la infraestructura rígida y heredada, algunos aeropuertos necesitarán tiempo para integrar nuevas características en su arquitectura.

Mientras tanto, la adopción de nuevas tecnologías como los vehículos eléctricos de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL), eléctricos y automatizados afectará el diseño de los aeropuertos, desde estacionamientos hasta protocolos de seguridad en pistas. Estos cambios tienen el potencial de evolucionar el papel de los aeropuertos en el panorama de la movilidad urbana, convirtiéndolos en centros intermodales.

La demanda de viajes aéreos seguirá creciendo, y las grandes aerotrópolis expandirán los límites de los aeropuertos. Paralelamente, la tecnología permitirá el procesamiento remoto de pasajeros y equipaje, así como pistas más pequeñas debido al despegue y aterrizaje vertical.

De hecho, puede significar que habrá dos aeropuertos de diferentes tamaños que prosperarán: unos mucho más grandes que los aeropuertos de tamaño promedio de hoy en día, como los *“Campeones de Carga del mañana”*, y otros mucho más pequeños, como los *“Aeropuertos de la Ciudad”* cercanos a los centros urbanos.

Corresponder la creciente demanda de viajes con las limitaciones de la fuerza laboral es otro desafío a medio plazo que requerirá inversión de la industria, pero para 2050 muchos roles impulsados por procesos estarán automatizados. Sin embargo, nuestros recursos humanos seguirán siendo utilizados para gestionar y humanizar excepciones.

La planificación avanzada, la colaboración público-privada y la participación comunitaria serán diferenciadores importantes de los aeropuertos de vanguardia. Los pasajeros del futuro tienen mucho que esperar. (Oliver Wynmann Forum , 2023)

Capítulo 3. CASO DE USO. AEROPUERTO DE BILBAO.

3.1 Introducción

A día de hoy, el mundo de la aviación está experimentando una transformación sin precedentes, impulsada por la innovación tecnológica y la necesidad de adaptarse a las exigencias ambientales y sociales del siglo XXI.

En el umbral de un nuevo capítulo en la aviación, el 18 de abril de 2024, Aena proclamó un hito significativo para el norte de España: la expansión del Aeropuerto de Bilbao. Este anuncio no sólo marca el comienzo de una era de progreso e innovación, sino que también establece el tono para este ambicioso proyecto, cuyo objetivo principal es sentar las bases para una ampliación tecnológica de la terminal de pasajeros del Aeropuerto de Bilbao, La Paloma.

Se contemplará la modernización de las infraestructuras existentes, redefiniendo la experiencia del viaje aéreo, haciéndola más eficiente, sostenible y placentera para todos los usuarios.

Este documento se estructura en los siguientes capítulos clave que guiarán el desarrollo del proyecto:

1. **Introducción:** Se presenta el proyecto, su relevancia y el impacto esperado, creando un marco de referencia para el lector.
2. **Historia:** Se analiza el pasado del Aeropuerto de Loiu, estableciendo un contexto histórico que nos permite comprender su evolución y la importancia de su actualización tecnológica.
3. **Infraestructuras:** Se detallan las características actuales de las instalaciones que tiene el aeropuerto de Bilbao, se analiza su función en cuánto a la reciente demanda de pasajeros y su cumplimiento.
4. **Sostenibilidad ambiental:** Se profundiza en las estrategias que se implementarán para minimizar el impacto ambiental del aeropuerto, alineándonos con las metas globales de sostenibilidad.
5. **Conectividad intermodal:** Se discute la integración del aeropuerto con otros medios de transporte, mejorando la accesibilidad y eficiencia del traslado de pasajeros.
6. **Experiencia del pasajero:** Se exploran las mejoras previstas para garantizar un viaje confortable y fluido, desde la llegada al aeropuerto hasta el embarque en el avión.

7. **Plan de acción financiera:** Se concluye con un análisis de la viabilidad económica del proyecto, asegurando una gestión transparente y responsable de los recursos invertidos.

Con este proyecto, se espera que el Aeropuerto de Bilbao, La Paloma, no solo mejore su capacidad operativa y de servicio, sino que también se convierta en un modelo de referencia internacional en términos de innovación y sostenibilidad en el sector aeroportuario. La visión es clara: un aeropuerto que se adelante a su tiempo y esté preparado para los retos del futuro, beneficiando a pasajeros, empleados y la comunidad en general.



Ilustración 14. Aeropuerto de Bilbao, La Paloma. (Route Development Committee, 2024)

3.2 Contexto histórico

El Aeropuerto de Bilbao, conocido cariñosamente como La Paloma debido a su distintiva arquitectura que evoca a un ave en pleno despegue, no solo es un puente aéreo, sino también un testimonio del progreso y la identidad de la región de Vizcaya. En este capítulo, retrocederemos en el tiempo para explorar los orígenes y la evolución del aeropuerto, una entidad que ha sido tanto testigo como protagonista del dinamismo histórico de la aviación en el norte de España.

Desde sus modestos comienzos hasta convertirse en un importante núcleo de tráfico aéreo, la historia del Aeropuerto de Bilbao es una narrativa fascinante de innovación, desafíos superados y crecimiento constante. A través de un recorrido por las décadas, entenderemos cómo los eventos históricos y las decisiones estratégicas han moldeado la infraestructura y servicios actuales, y cómo estos, a su vez, han impactado en la economía y cultura locales. Este relato histórico nos proporcionará una perspectiva invaluable para apreciar la relevancia del proyecto de ampliación tecnológica que se avecina y su papel en la continuación de la rica tradición de esta emblemática puerta al mundo.

Después de varios ensayos aéreos en la provincia de Vizcaya, en octubre de 1927, la Unión de Obras Públicas dio los pasos necesarios para la construcción de un aeropuerto en Bilbao. Se formó una Junta provincial para estudiar dónde ubicarlo. Sin embargo, no fue hasta 1936 cuando la Dirección General de Aeronáutica autorizó la instalación de un aeropuerto en Sondica, cerca de Bilbao.

Sin embargo, debido a las deficiencias del lugar, el aeropuerto no fue considerado de interés. La zona metropolitana de Bilbao está rodeada de montañas de altura media y baja, así que se necesitaba un valle llano y poco poblado para el aeródromo. Durante la Guerra Civil Española, las obras comenzaron y hasta junio de 1937, el aeropuerto se usó como base para actividades militares. En 1938, comenzó la segunda fase de desarrollo, el Ayuntamiento de Bilbao negoció con el Gobierno español para modificar el proyecto original y se aprobó uno nuevo por la Dirección General de Obras Públicas.

En 1940, se acordó entre varias organizaciones locales y estatales la construcción de un aeropuerto civil en Sondica. Las obras avanzaron lentamente y el 19 de septiembre de 1948, el aeropuerto inició sus operaciones diurnas con una ruta regular a Madrid operada por Aviación y Comercio, S.A. (Aviaco). Dos años después, la terminal, llamada Carlos Haya en honor al piloto bilbaíno, comenzó a operar.

En aquel entonces, el aeródromo contaba con una pista de asfalto orientada hacia los grados 29/11, con unas medidas de 1.440 × 45 metros, y otra pista de tierra de 1500 × 150 metros. Además, tenía una calle de rodaje, una terminal de pasajeros, una torre de control, una radiobaliza, un goniómetro y servicios de policía, correo, médico, estación meteorológica, teléfono y repostaje.

En 1955, se construyó una conexión entre la pista principal y el área de estacionamiento de aeronaves frente a la terminal, con medidas de 124 × 60 metros. Durante este período se

establecieron las instalaciones permanentes de CAMPSA para el suministro de combustible, y se erigió un hangar para el Real Aeroclub de Vizcaya.

Entre 1964 y 1965, se mejoró la operatividad del aeropuerto con la instalación del sistema de aproximación y aterrizaje instrumental (ILS) y una radio meteorológica para detectar tormentas. La pista se extendió a 2.000 metros de longitud y el área de estacionamiento se amplió a 12.000 m². A principios de los años setenta, cuando quedó claro que estas mejoras no eran suficientes, surgió un fuerte debate sobre si mantener el aeropuerto en su ubicación actual, trasladarlo o centralizarlo todo en el Aeropuerto de Vitoria. Además, se consideraba que esta zona era el área natural de crecimiento de Bilbao, por lo que esta infraestructura se veía como un obstáculo. Finalmente, se optó por lo que se llamaba el "mal menor" y se inició un plan de mejoras.

En 1975, la numeración de la pista cambió a 10/28 debido a una variación en la declinación magnética. En 1977, se amplió nuevamente el área de estacionamiento para dar cabida al aumento de operaciones y la necesidad de estacionar hasta cuatro aeronaves al mismo tiempo. También se inauguró la nueva pista principal con orientación 12/30 y medidas de 2600 × 45 metros. Se construyeron pistas de rodaje desde la plataforma que daban acceso a ambas pistas, así como una carretera de enlace. La instalación del sistema ILS en la nueva pista permitió al Aeropuerto de Bilbao ser clasificado como de Categoría I al año siguiente.

Esta nueva orientación de la pista principal se hizo para mejorar las operaciones del aeropuerto y evitar molestias en los municipios cercanos, que debido al crecimiento demográfico, estaban cada vez más cerca de las instalaciones. Esto lleva a los aviones que realizan aproximaciones a la pista 30 a sobrevolar el Cementerio Municipal de Bilbao en Derio, que está al comienzo de la cabecera de la pista.

Durante los años 80, se instaló un nuevo sistema ILS para la plena operatividad de la pista 10/28 como alternativa a la principal 12/30 en caso de problemas que la dejaran inutilizable, asegurando así la continuidad de las operaciones del aeropuerto. Esta situación fue de gran ayuda el 07/02/2001, cuando un avión de Iberia, modelo Airbus A320-214 con matrícula EC-HKJ, procedente del Aeropuerto de Barcelona-El Prat, sufrió una rotura del tren de aterrizaje delantero debido a una ráfaga de viento durante las maniobras de aproximación y aterrizaje, bloqueando la pista 12/30 durante varias horas hasta que fue retirado.

Afortunadamente, no hubo víctimas graves. En esa misma década, se modernizaron las instalaciones de la torre de control, se construyó un nuevo centro de comunicaciones y una nueva terminal de pasajeros (actualmente en desuso) debido al aumento significativo en la demanda de vuelos. Se ampliaron tanto la plataforma de estacionamiento de aviones como el estacionamiento de vehículos para pasajeros, y se mejoraron las instalaciones del Parque de Bomberos del aeropuerto. Además, se construyó la terminal de carga, que aún está en funcionamiento.

En 1996 se construyó una nueva área de estacionamiento para aviones y las vías que conducen a ellas, lo que implicó importantes trabajos de movimiento de tierras y la creación de una zona especial para almacenar tierras contaminadas por lindane, un insecticida muy tóxico ahora prohibido. En mayo de 1999, entró en funcionamiento la nueva torre de control, diseñada por

el arquitecto Santiago Calatrava y conocida como "El Halcón" por sus líneas estilizadas. Está ubicada frente a la nueva terminal de pasajeros, también diseñada por Calatrava y llamada popularmente "La Paloma". La nueva ubicación de la torre mejora la visibilidad de los controladores, lo que optimiza la gestión del tráfico aéreo.

Debido al crecimiento exponencial en la demanda de tráfico de pasajeros y la incapacidad de ampliar la antigua terminal de Sondica, Aena encargó a Santiago Calatrava el diseño y construcción de una nueva terminal con capacidad para albergar aproximadamente 5 millones de pasajeros al año. Esta nueva terminal se construyó en el área norte del aeropuerto, casi frente a la antigua, dentro del municipio de Lujua, y se inauguró el 19 de noviembre de 2000. Tiene una superficie construida de 32.000 m² distribuidos en tres plantas principales (Nivel 0 = Llegadas • Nivel 1 = Salidas • Nivel 2 = Oficinas) que ofrecen todos los servicios para pasajeros, con un diseño espectacular que la ha convertido en una de las 10 terminales aeroportuarias más hermosas del mundo. La nueva terminal cuenta con una plataforma para aviones con 20 plazas de estacionamiento, además de seis pasarelas de embarque directo.

Como complemento a la nueva terminal, se construyó un aparcamiento (P1) para vehículos ligeros con 2.924 plazas en una superficie de 95.000 m²; en 2006 se abrió un segundo aparcamiento (P2) para estancias largas y vehículos más altos, con 477 plazas. Cumpliendo con las nuevas normativas de seguridad internacionales y bajo la supervisión de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, en 2014 se desplazó el umbral de la cabecera de la pista 28 en 550 metros para mantener la distancia de seguridad entre los aviones en espera (holding) para despegar en dicha pista y la 12/30 que está justo detrás. Esto reduce la longitud operativa de la pista 28 a 1.450 metros, manteniendo los 2.000 metros originales para las operaciones en la cabecera 10. (Wikipedia La enciclopedia libre, 2024)

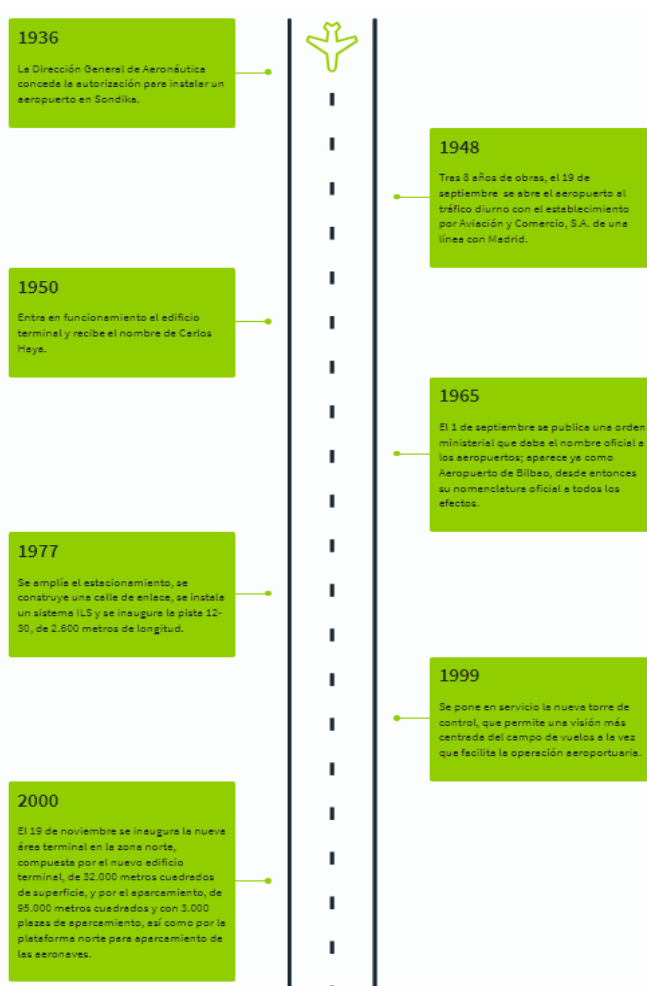


Ilustración 15. Cronograma de la historia del aeropuerto de Bilbao. (Aena, 2024)

A medida que nos adentramos en el desarrollo del proyecto, resulta esencial contextualizarlo con una instantánea de la situación actual del Aeropuerto de Bilbao, La Paloma, tal y como se presenta en el año 2023. Este año ha sido crucial, ya que se han consolidado datos que reflejan tanto los desafíos como las oportunidades que se desprenden

de la realidad aeroportuaria actual. Los números y estadísticas más recientes nos ofrecen una comprensión clara del volumen de pasajeros, las operaciones de vuelo, la eficacia de las actuales estructuras y la interacción con el entorno económico y social.

El aeropuerto de Bilbao ha tenido un total de 6.336.441 pasajeros anuales en el año 2023, con un total de 52.448 vuelos y 751 toneladas cargadas en operaciones de carga.



Ilustración 16. Zona de captación del aeropuerto de Bilbao. (FlyBio.eus, 2023)

3.3 Infraestructuras actuales

La terminal aeroportuaria actual, inaugurada el 19 de noviembre del 2000, fue diseñada por el arquitecto valenciano Santiago Calatrava. Su diseño busca reflejar un ave en vuelo, lo que le ha valido el apodo popular de La Paloma. En su construcción se emplea predominantemente el color blanco, vidrio y hormigón.

Esta terminal dispone de 6 pasarelas de acceso a aeronaves (fingers) para conectar directamente con la terminal. Además, se construyó una nueva torre de control, llamada El Halcón por su forma, para hacer frente al aumento previsto de vuelos. Las instalaciones antiguas se han adaptado para mejorar el conjunto del aeropuerto: la antigua pista de aterrizaje se mantiene como pista secundaria para uso en situaciones donde la principal no esté disponible, y para aeronaves no comerciales; la antigua terminal de pasajeros está ahora casi desocupada y la antigua torre de control se ha equipado con dispositivos para emergencias. (Wikipedia La enciclopedia libre, 2024)

La construcción de la nueva terminal de carga está en proceso desde hace más de 10 años, mientras que las instalaciones antiguas siguen en uso. La antigua Terminal de Pasajeros se utiliza ahora para oficinas.

Nueva Terminal de Pasajeros (La Paloma): cuenta con 36 mostradores de facturación, 12 puertas de embarque y 7 cintas para recogida de equipajes.

A continuación se analizarán los diferentes mapas de cada planta del aeropuerto. La Paloma consta de cuatro plantas: la planta 0, 1, 2 y 3, cada una ofreciendo una gama de servicios para los pasajeros.

A. Planta 0: Aparcamientos

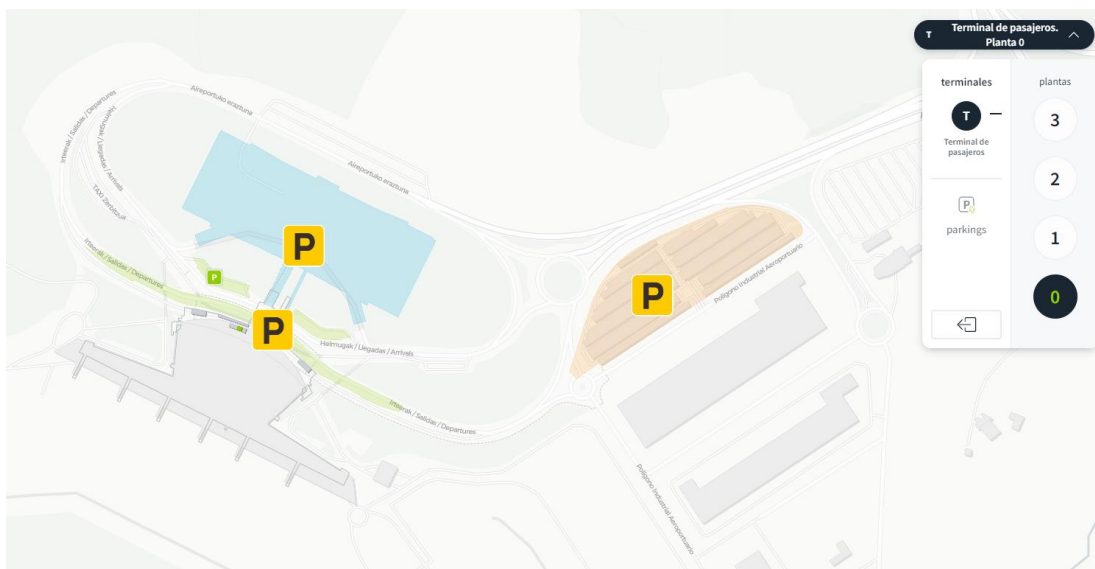


Ilustración 17. Planta 0 del aeropuerto de Bilbao, localización de aparcamientos. (Aena, 2024)

El área de estacionamiento ubicada frente al Edificio Terminal ofrece 2.008 espacios para el estacionamiento breve de automóviles particulares, además de 524 espacios designados para autos de renta. Dentro de esta zona de estacionamiento, también se hallan diversas oficinas que no se incluyeron en los planes iniciales del edificio, tales como las oficinas de empresas de alquiler de vehículos, Recursos Humanos y un comedor para el personal del aeropuerto. La inclusión de estas oficinas ha resultado en la eliminación de 50 espacios originalmente disponibles para estacionamiento. Asimismo, existen 325 espacios asignados a empresas dentro del área de estacionamiento público.

El aeropuerto cuenta con un Parking Express para facilitar la llegada y salida de pasajeros, con 38 y 71 espacios disponibles respectivamente, situado justo frente a la entrada al Edificio Terminal de pasajeros.

El estacionamiento para estancias prolongadas (P2) se localiza al noreste del Edificio Terminal y ofrece 672 espacios. Adyacente a P2, se encuentra el área de estacionamiento destinada a los vehículos de alquiler con 490 espacios disponibles.

Para los autobuses, el aeropuerto dispone de una zona de estacionamiento con 13 espacios organizados en dos filas, situada al norte del Edificio Terminal. Adicionalmente, hay un área contigua reservada para 125 taxis con licencia para estacionarse.

El aeropuerto cuenta con una estructura vial que facilita el desplazamiento hacia sus diferentes áreas. Hay una carretera de dos vías (ampliándose a tres hacia el norte del estacionamiento) que dirige hacia la Terminal. Al aproximarse al sector Terminal, la carretera se divide en dos vías destinadas al acceso de la zona de llegadas y dos para la zona de salidas. Estas vías también proporcionan entrada al estacionamiento principal y al aparcamiento rápido de llegadas. Adicionalmente, se abre una vía adicional exclusiva para el tránsito de taxis. Las vías hacia la zona de salidas se expanden a cinco, asignando dos para el flujo de taxis y los tres restantes, uno para el estacionamiento temporal de autos privados y dos para su circulación. (Aena, 2024)

B. Planta 1: Llegadas y salidas remoto.

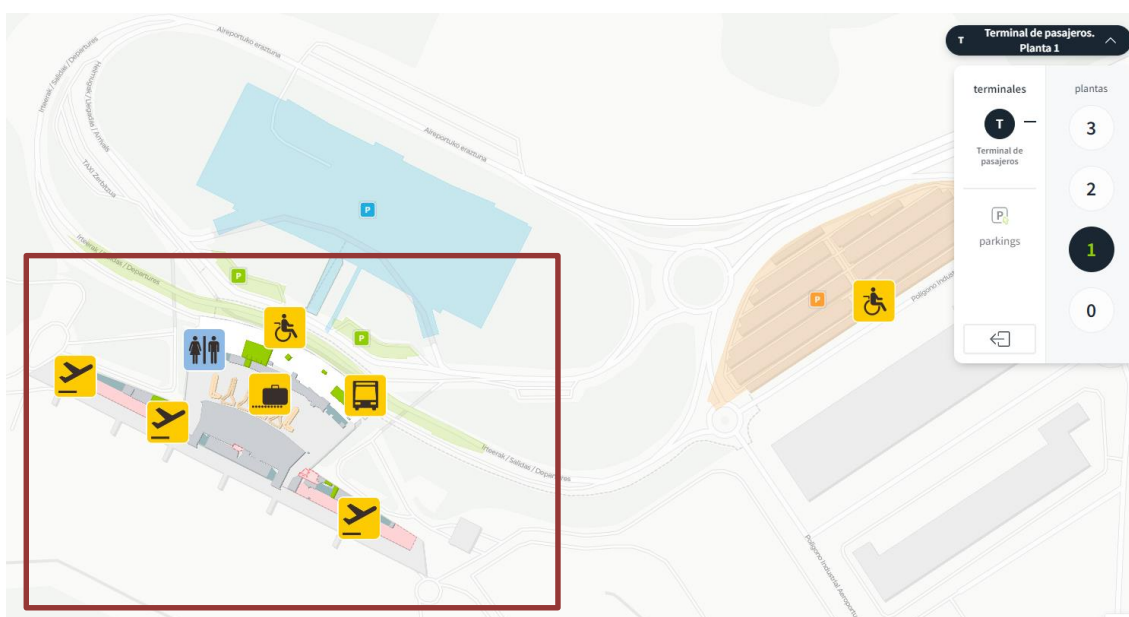


Ilustración 18. Planta 1 del aeropuerto de Bilbao. Llegadas y salidas remoto. (Aena, 2024)

C. Planta 2: Entreplanta. Zona de distribución de pasajeros.

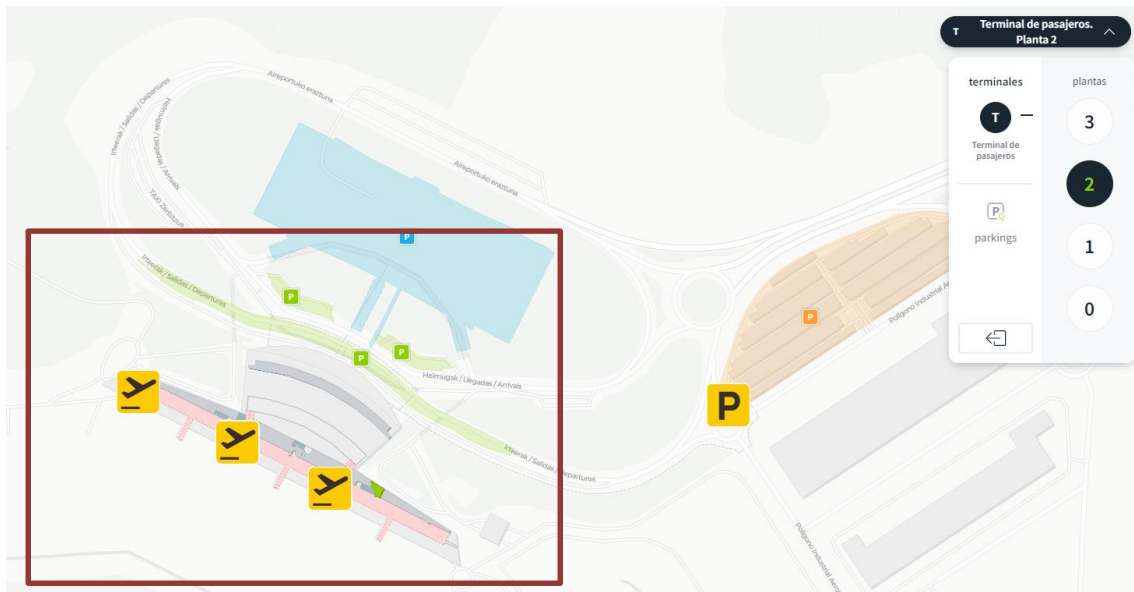


Ilustración 20. Planta 2 del aeropuerto de Bilbao. Zona de distribución de pasajeros. (Aena, 2024)

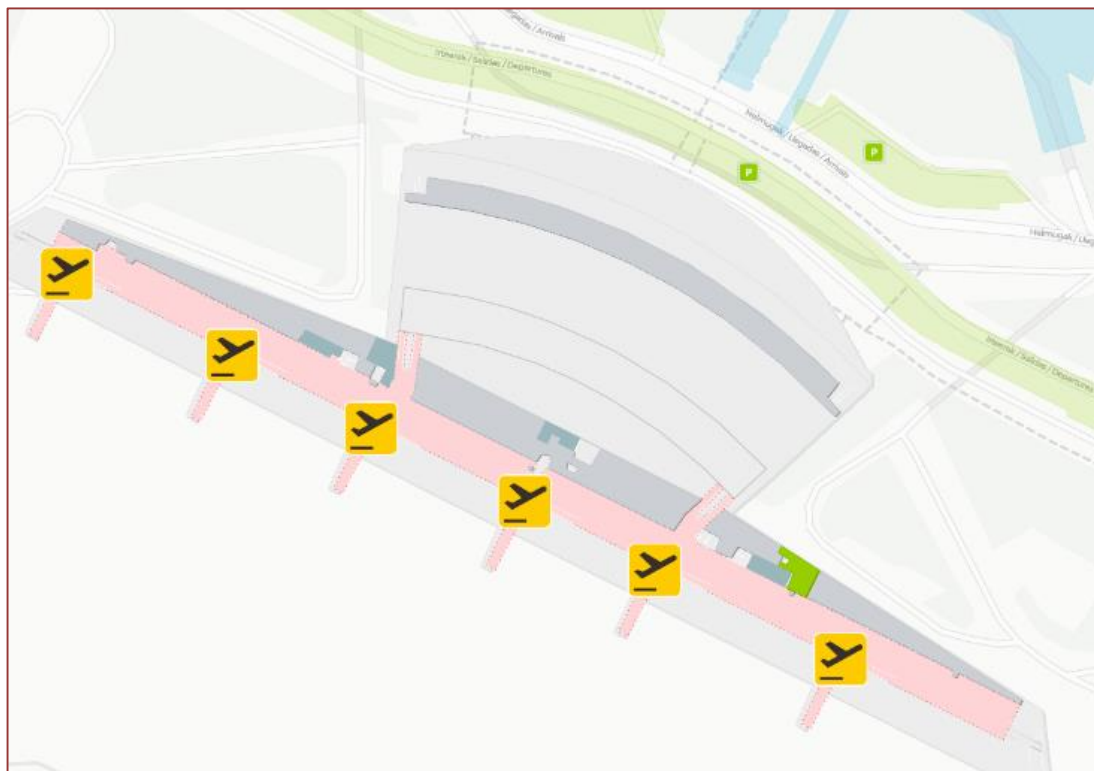


Ilustración 21. Ampliación de la ilustración 20.

Situada en las alas del edificio, alberga los espacios de distribución de pasajeros, tanto los de embarque como los de desembarque. En esta galería se encuentran las 6 puertas de embarque asistidas.

D. Planta 3: Entreplanta. Salidas.

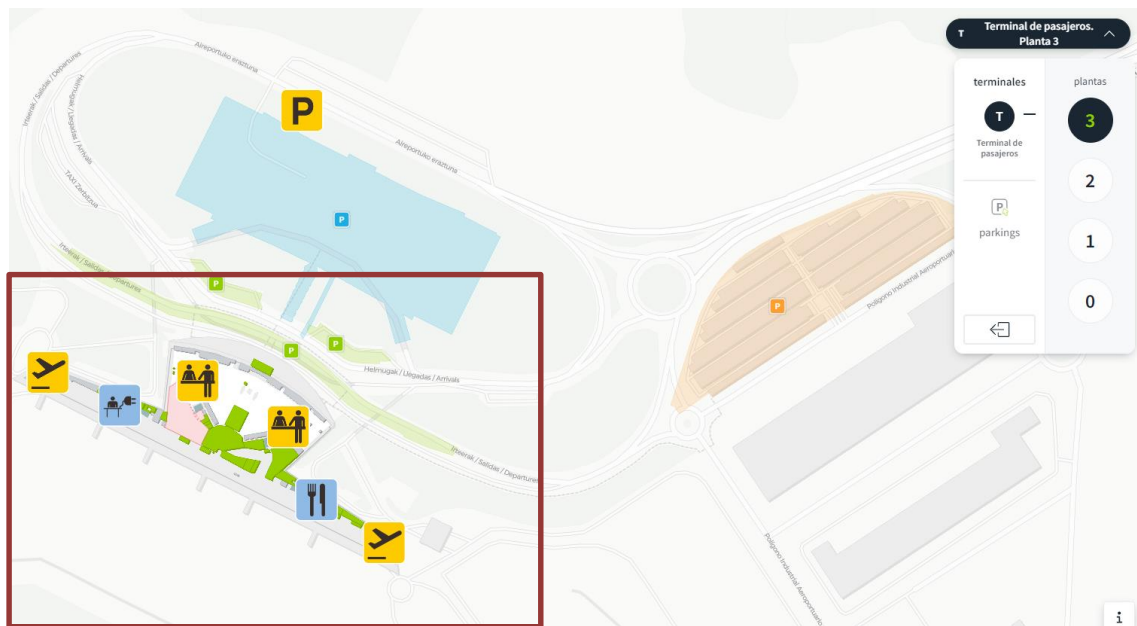


Ilustración 22. Planta 3 del aeropuerto de Bilbao. Entreplanta. Salidas. (Aena, 2024)

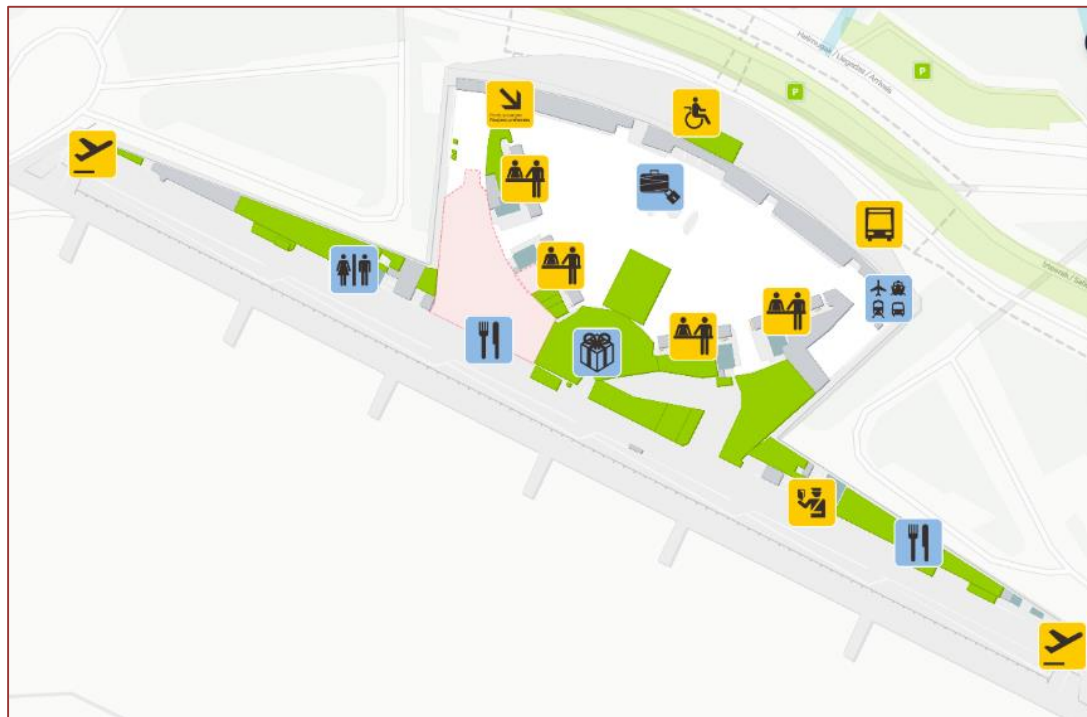


Ilustración 23. Ampliación de la ilustración 22.

En el primer piso se ubican los servicios destinados a los pasajeros que parten, donde el área del vestíbulo de salidas abarca aproximadamente 3.900 m², incluida la sección destinada a las filas de facturación. Esta área dispone de 36 mostradores para facturación, dos de los cuales están especializados en el manejo de equipaje no estándar. Finalizado el proceso de facturación, los pasajeros tienen acceso a los controles de seguridad, que se encuentran a la derecha, justo detrás de la zona de facturación. La presencia de taquillas para la compra de

boletos y mostradores de información enriquece los servicios disponibles en el espacio del vestíbulo de salidas.

Una vez franqueados los controles de seguridad se accede a una zona con espacios comerciales y a la zona de embarque, distribuyéndose a lo largo de ella los accesos a las puertas de embarque asistido y remoto. La puerta de embarque 6 dispone, además, de control de pasaportes.

Entre los servicios que ofrece el aeropuerto de Bilbao tenemos los siguientes:

- Acceso prioritario
 - Acceso rápido al filtro de seguridad
- Agencias de viaje y touroperadores
 - UTE MULTIPLAN
- Alquiler de coches
 - Avis
 - Enterprise/National
 - Europcar
 - Hertz
 - Sixt
 - VTC (UBER)
- Aseos
- Compañías aéreas
- Conexión de vuelos
- Correos
 - Buzón de correos
- Devolución de IVA
- Equipajes
 - Equipajes extraviados de compañías asistidas por Aviapartner
 - Equipajes extraviados de compañías asistidas por Grounforce
 - Equipajes extraviados de compañías asistidas por IBERIA
 - Volotea

- Máquina plastificadora
- Familias
 - Área de juegos infantiles
- Información y puntos de encuentro
 - Información del aeropuerto
 - Oficina de información turística
 - Aviapartner
 - Objetos perdidos
 - Punto de encuentro
- Oficinas bancarias y cajeros
 - Cajero Euronet
 - Cajero BBK
 - Cajero BBVA
 - Cajero Caixabank
- Otros servicios
 - Estación de servicio Amunaga
 - Fuentes de agua
- Parking
 - Galería de conexión Parking-Terminal
 - Parking Express Salidas
 - Parking P2 Larga Estancia
 - Parking Premium
 - Parking Express Llegadas
 - Plazas PMR
 - Parking de bajo coste
 - Parking General P1
- PMR

- PMR- Acera llegadas
- Parking de larga estancia
- Oficina de asistencia a PMR
- PMR- Acera salidas
- Vestíbulo edificio aparcamiento
- Restauración
 - MasQmenos
 - Burger King
 - Leku Ona
 - Reserva Ibérica
 - San Miguel Exploring the World
 - Santa Gloria
 - Starbucks
 - Yandiola
- Reuniones y trabajo
 - Zona de trabajo (mesas con enchufes)
- Salas VIP
- Seguridad
 - Ertzaintza
- Servicios médicos y desfibriladores
- Tiendas
 - Administración de Loterías
 - Aelia Duty Free
 - Relay
 - WHSmith
- Transporte
 - Máquina de venta de billetes Pesa

- Parada de Taxis
- Parada línea A3247 salidas/llegadas
- Parada línea DG12 salidas/llegadas
- Parada línea D004 salidas/llegadas
- Servicio de atención al cliente

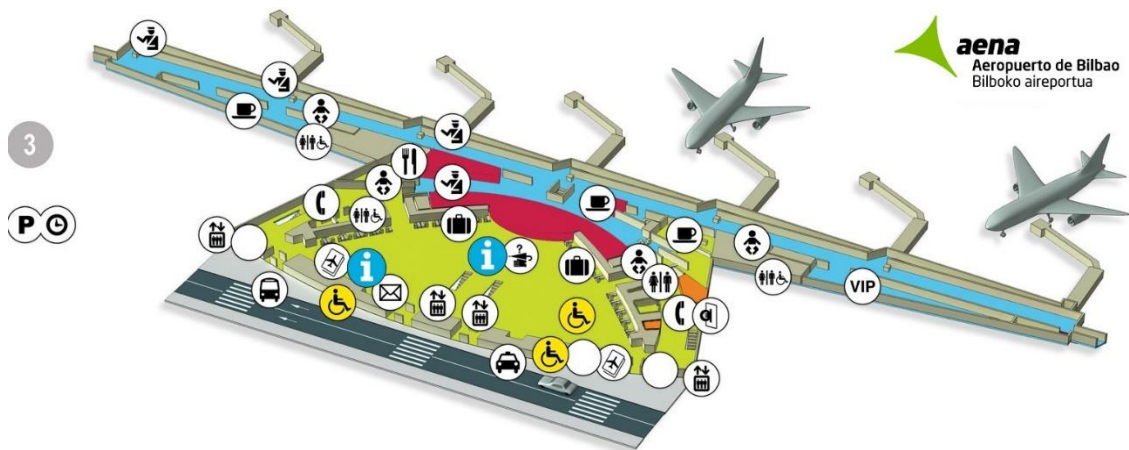


Ilustración 24. Mapa de los servicios disponibles en el aeropuerto de Bilbao. (Aena, 2024)

3.4 Sostenibilidad ambiental – Plan de Acción Climática

PLAN DE ACCIÓN CLIMÁTICA

OBJETIVOS

REDUCCIÓN DE EMISIONES CO2



Compromiso de reducir las emisiones de CO2 en un 53% en términos absolutos. Esta meta ambiciosa refleja el firme compromiso con la descarbonización y la lucha contra el calentamiento global.

ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE FUENTES RENOVABLES



Alcanzar una cuota del 100% de abastecimiento energético procedente de fuentes renovables. Se reconoce el potencial de la energía limpia para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y minimizar el impacto ambiental.

EMISIONES DE SERVICIOS DE HANDLING



Implementación de un plan de reducción del 60% en las emisiones de los agentes de handling para el año 2025. Se reconoce el papel crucial que desempeñan estos actores en las operaciones y se está comprometido a trabajar en estrecha colaboración con ellos para optimizar sus prácticas y reducir su huella de carbono.

NET ZERO 2040



Alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2030 y avanzar hacia la consecución del Net Zero en 2040, lo que implicará una reducción del 94% en las emisiones para el año 2030. Se está decidido a asumir un liderazgo proactivo en la lucha contra el cambio climático y a trabajar incansablemente hacia un futuro más sostenible para las generaciones venideras.

Ilustración 25. Plan de Acción Climática, Aeropuerto de Bilbao. Elaboración Propia.

En un contexto de desafíos sin precedentes relacionados con el cambio climático, el Aeropuerto de Bilbao se compromete a liderar el camino hacia un futuro más sostenible y resiliente. Conscientes de la responsabilidad ambiental, se ha diseñado un plan de acción climática integral que establece metas ambiciosas y medidas concretas para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y promover la transición hacia un modelo energético más limpio y renovable. (Aena, 2023)

El plan se fundamenta en cuatro objetivos principales. En primer lugar, se establece el compromiso de reducir las emisiones de CO₂ en un 53% en términos absolutos. Esta meta ambiciosa refleja el firme compromiso con la descarbonización y la lucha contra el calentamiento global.

Además, se busca alcanzar una cuota del 100% de abastecimiento energético procedente de fuentes renovables. Se reconoce el potencial de la energía limpia para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y minimizar el impacto ambiental.

Asimismo, se establece la implementación de un plan de reducción del 60% en las emisiones de los agentes de handling para el año 2025. Se reconoce el papel crucial que desempeñan estos actores en las operaciones y se está comprometido a trabajar en estrecha colaboración con ellos para optimizar sus prácticas y reducir su huella de carbono.

Finalmente, el plan tiene como objetivo alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2030 y avanzar hacia la consecución del Net Zero en 2040, lo que implicará una reducción del 94% en las emisiones para el año 2030. Se está decidido a asumir un liderazgo proactivo en la lucha contra el cambio climático y a trabajar incansablemente hacia un futuro más sostenible para las generaciones venideras.

Para calcular la huella de carbono del aeropuerto de Bilbao y poder cumplir con los objetivos establecidos, las emisiones de gases de efecto invernadero se han dividido en tres categorías, según su alcance climatológico.

- **Emisiones de alcance 1:** emisiones directas procedentes de fuentes o procesos y actividades controladas en las instalaciones del aeropuerto, como las emisiones de calderas de calefacción, del servicio de extinción de incendios o de los vehículos de su flota.
- **Emisiones de alcance 2:** emisiones indirectas que se producen por la generación de electricidad o energía térmica comprada.
- **Emisiones de alcance 3:** emisiones que involucran a terceras partes.
 - Adquisición de bienes y servicios.
 - Bienes capitales.
 - Actividades relacionadas con la producción de energía.
 - Residuos generados durante la operación.

- Viajes de trabajo.
- Desplazamiento casa-trabajo-casa de los empleados.
- Activos arrendados por la organización.
- Transporte y distribución “aguas abajo”.
- Uso de servicios proporcionados por la organización.
- Inversiones.

Por un lado, en cuanto a las emisiones de alcance 1 y 2, se quiere diseñar una estrategia para la compra de combustibles sostenibles, que se detallará a continuación, y un plan fotovoltaico como el que describe Aena para sus aeropuertos.

Por otro lado, para las emisiones de alcance 3, la estrategia se basará en convertir la flota “ground handling” 100% sostenible para 2030 y se analizará la viabilidad del hidrógeno como combustible principal para los aviones, en términos de adaptación de infraestructura aeroportuaria.

Combustibles sostenibles para climatización: (Emisiones Alcance 1 & 2)

Las nuevas tácticas en cuanto a energía térmica abarcan la adquisición de combustibles de fuentes sostenibles. Esforzándonos por eliminar al completo la dependencia de combustibles fósiles en nuestras actividades cotidianas, con la meta de reducir las emisiones al máximo para el año 2030, recurriendo principalmente a energías renovables en el suministro térmico.

La calefacción basada en combustibles fósiles se podrá sustituir por alternativas sostenibles, como el biometano o biogás de origen renovable, asegurando su procedencia. Para ello, se exploran opciones como el hidrobiodiésel o HVO como sustitutos sostenibles al diésel, con miras a completar la transición hacia el consumo sostenible de combustibles diésel.

Se ha iniciado la adquisición de combustibles sostenibles, incluyendo el primer lote de biodiésel de hidrógeno (HVO) y biometano certificado, destinado a alimentar calderas y grupos electrógenos en diversos aeropuertos como JT Barcelona-El Prat, Valencia, Palma de Mallorca, Ibiza y Girona-Costa Brava. Así mismo, podrá adquirirse para el aeropuerto de Bilbao.

Por ejemplo, en 2023, el ahorro en el consumo de gasóleo de las calderas de T123 del Aeropuerto de AS Madrid-Barajas se logró mediante una intervención que vinculó la planta de cogeneración del aeropuerto con las Terminales 1, 2 y 3, aprovechando el excedente de energía térmica producida por dicha planta para climatizar las terminales, las cuales anteriormente dependían de calderas de gasóleo. Esta medida resultó en el cese del uso de las calderas de las mencionadas terminales a lo largo de 2023, lo que generó un ahorro de más de 1.000.000 de litros de gasóleo, según informa Aena.

Las planta de cogeneración de los aeropuertos se consideran uno de los principales emisores de CO₂, lo que requiere un plan específico de accione. Este plan contempla que, una vez que la geotermia se implemente como la principal fuente de energía térmica para los aeropuertos, la

planta de cogeneración se convertirá en un centro de control de energía térmica renovable, proporcionando también energía de respaldo en caso de emergencia. Para lograrlo, se gestionará una solución híbrida de energías renovables.

Se podría contemplar la instalación de nuevas enfriadoras y calderas eléctricas y la conexión de estas a una de las futuras Plantas Fotovoltaicas que podría tener el aeropuerto.

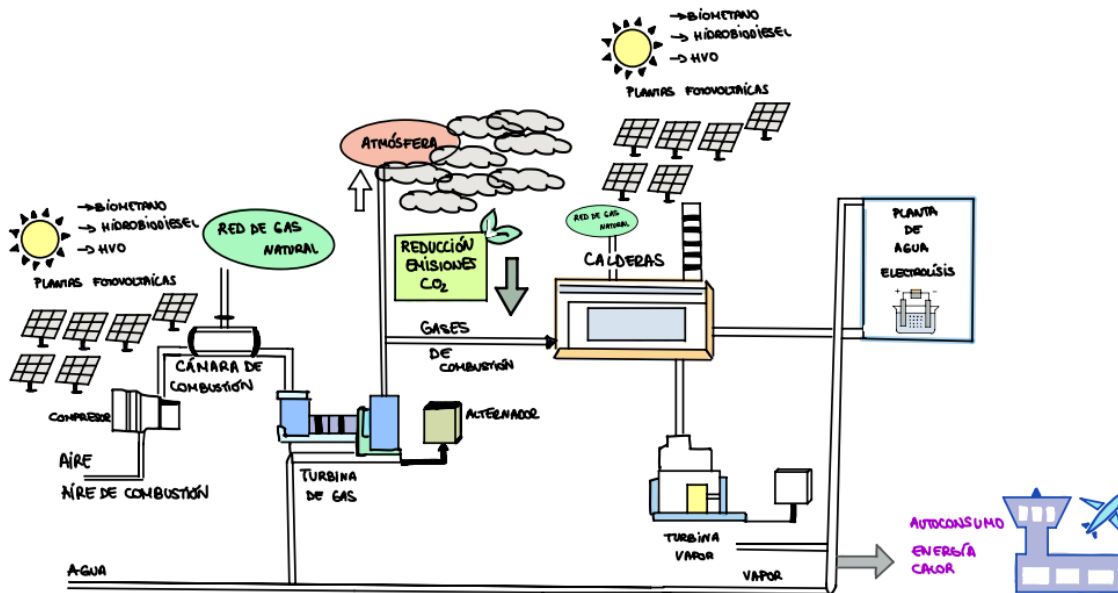


Ilustración 26. Diagrama funcionamiento planta de cogeneración. Elaboración Propia.

Plan fotovoltaico: (Emisiones Alcance 1 & 2)

Así mismo, como se han llevado a cabo avances significativos en la implementación de planes fotovoltaicos, abarcando actividades relacionadas con la elaboración de proyectos, la obtención de permisos y la presentación de los avales requeridos, se considera dar inicio a las labores de construcción de una planta solar fotovoltaica de 3 MW en el Aeropuerto de Bilbao.

Climatización

La calefacción basada en combustibles fósiles se podrá sustituir por alternativas sostenibles, como el biometano o biogás de origen renovable, asegurando su procedencia. Para ello, ese exploran opciones como el hidrobiodiésel o HVO como sustitutos sostenibles al diésel, con miras a completar la transición hacia el consumo sostenible de combustibles diésel.

1

2

Plan fotovoltaico

Se han llevado a cabo avances significativos en la implementación de planes fotovoltaicos, abarcando actividades relacionadas con la elaboración de proyectos y soluciones futuras de independencia de la red.

Ilustración 27. Proyectos más importantes para Emisiones Alcance 1 & 2 del PDAC para el aeropuerto de Bilbao. Elaboración Propia.

Otras actuaciones: (Emisiones Alcance 1 & 2)

Durante el año 2023, se ha continuado con el proceso de compra y adquisición de vehículos en distintos aeropuertos del país, aumentando así el número de vehículos eléctricos operativos. Se espera que el proceso continúe en el aeropuerto de Bilbao, además de varios trabajos para iniciar la transición de las lanzaderas diésel actuales hacia lanzaderas eléctricas, con el objetivo de que estas estén operativas para el año 2028.

Existen varias mejoras para la red eléctrica del aeropuerto a tener en cuenta que incluyen la instalación de detectores de presencia, la sustitución de sistemas por iluminación LED, la actualización de instalaciones de aire acondicionado y la implementación de sistemas automáticos de regulación de iluminación, entre otras acciones.

A continuación, se procederá al análisis para las emisiones de alcance 3 en la huella de carbono.

Flota de asistencia en tierra para aeronaves "Handling": (Emisiones Alcance 3)



Ilustración 28. Vehículo eléctrico para actividades handling Iberia y Repsol. (Iberia, 2023)

Uno de los principales enfoques en el proceso de descarbonización de las actividades de terceros implica la transición hacia flotas de vehículos y equipamiento de asistencia en tierra a aeronaves más sostenibles.

Se contempla trabajar activamente para facilitar esta transición de manera coordinada entre todos los proveedores de servicios de asistencia en tierra y los aeropuertos, incluyendo la categoría de handling de rampa.

El objetivo, 100% de flota sostenible para 2040, permitirá que la actividad de "ground handling" sea prácticamente "Cero Emisiones" en un futuro. Además, los nuevos vehículos de asistencia en tierra estarán equipados con telemetría para mejorar la eficiencia y reducir el consumo de energía.

Para satisfacer las necesidades de recarga de esta nueva flota eléctrica, se instalarán cargadores eléctricos en el lado aire de “La Paloma” durante los próximos años, con la instalación de 184 puntos de recarga adicionales. Según Aerna, este proyecto ha recibido financiamiento de una subvención europea del Programa CEF-AFIF, incluido en el "Mecanismo Conectar Europa", línea "Alternative Fuels Infrastructure Facility", debido a su importancia y magnitud para todos los aeropuertos de la red.

Según una noticia publicada en la web de grupo Iberia el 23 de mayo de 2023, “Iberia Airport Services y Repsol realizan, por primera vez en España, las actividades de handling del aeropuerto de Bilbao con un combustible renovable 100%. Durante el próximo mes, ambas compañías utilizarán un combustible sostenible, tratado en la planta de Petronor, para todas las operaciones de atención a los aviones y clientes en el aeropuerto de Loiu”.

Se reflexiona que el aeropuerto puede beneficiarse notoriamente de la planta de Petronor, por su cercanía y familiaridad para la extracción de combustibles sostenibles. (Iberia, 2023)

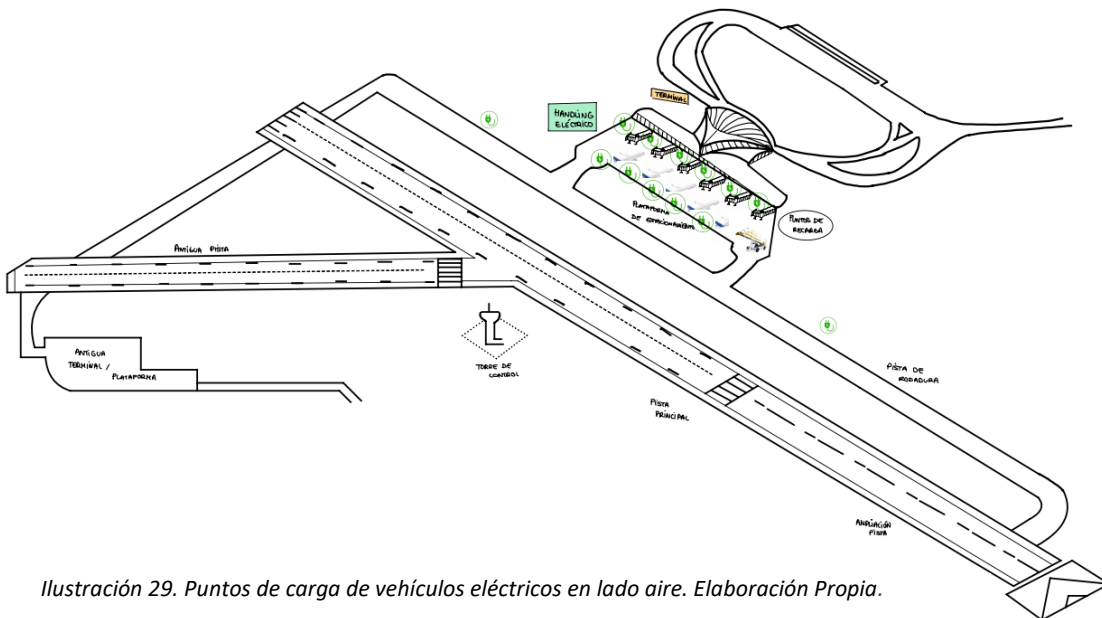


Ilustración 29. Puntos de carga de vehículos eléctricos en lado aire. Elaboración Propia.

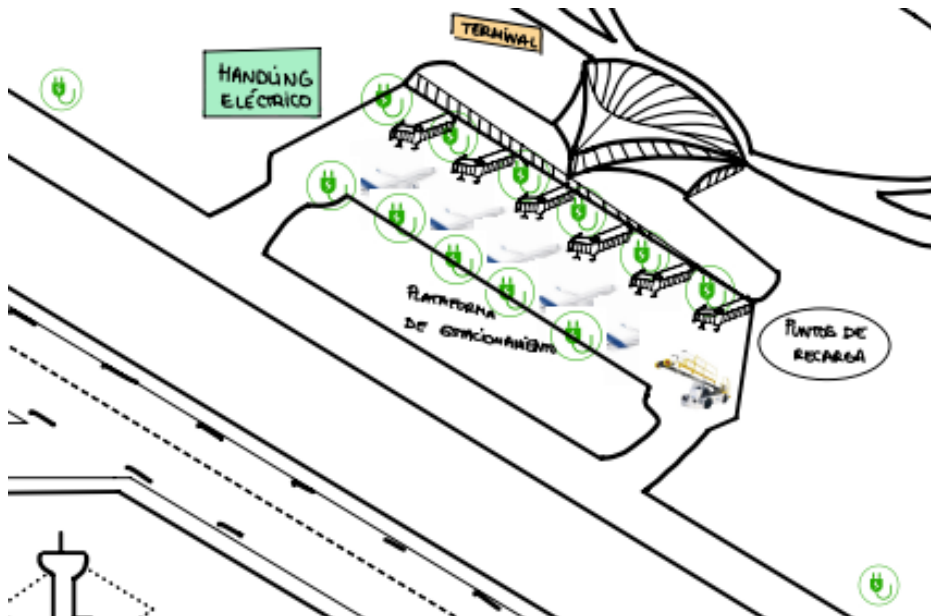


Ilustración 30. Ampliación de la ilustración 29.

Combustibles sostenibles: (Emisiones Alcance 3)

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo II de Sostenibilidad Ambiental del marco teórico del bloque I, la adopción de SAF será una oportunidad para que los aeropuertos definan un modelo operativo con productores de energía. Al mismo tiempo, el reglamento RefuelEU Aviation fija unas cantidades obligatorias, mínimas y crecientes de utilización de combustibles sostenibles de aviación que el aeropuerto de Bilbao deberá cumplir.

La nueva normativa se basa en el uso de SAF y e-fuels, e incluye entre otras disposiciones principales, lo siguiente:

1. La exigencia de que los proveedores de combustible de aviación aseguren que todo el combustible suministrado a los operadores de aeronaves en los aeropuertos de la Unión Europea contenga un porcentaje mínimo de combustible de aviación sostenible para 2025, y a partir de 2030, un porcentaje mínimo de combustible sintético. Estos porcentajes deben aumentar gradualmente hasta 2050. En este sentido, los proveedores deberán incorporar un 2% de combustibles de aviación sostenibles en 2025, un 6% en 2030 y un 70% en 2050. A partir de 2030, también se requerirá que el 1,2% de los combustibles sean sintéticos, aumentando hasta el 35% en 2050.
2. La obligación de que los operadores de aeronaves garanticen que al menos el 90% del combustible de aviación requerido anualmente en un determinado aeropuerto de la Unión Europea provenga de dicho aeropuerto, con el fin de evitar el repostaje excesivo que genere emisiones adicionales debido al exceso de peso.
3. La exigencia de que los gestores de aeropuertos faciliten a los operadores de aeronaves el acceso al SAF, así como la obligación de informar a la autoridad competente sobre la cantidad de combustible de aviación consumido en cada aeropuerto.

A día de hoy, ya se comercializa SAF físico en cinco de los principales aeropuertos españoles: Adolfo Suárez-Madrid Barajas, Josep Tarradellas Barcelona-El Prat, Son Sant Joan de Palma de Mallorca, Málaga-Costa del Sol y Sevilla-San Pablo.

Cumpliendo con la normativa RefuelEU Aviation, se evalúa que el aeropuerto de Bilbao haga un uso mínimo de estos combustibles sostenibles a corto-medio plazo, y finalmente pueda comercializarlo a largo plazo.

Hidrógeno: (Emisiones Alcance 3)

El hidrógeno como combustible principal también se ha tratado en el capítulo II de Sostenibilidad Ambiental del marco teórico del bloque I, y aunque sea un combustible con mucho potencial para la reducción del impacto climático, no se considera que pueda tener una aplicación viable en el aeropuerto del Bilbao para 2040 por las siguientes razones:

- Desafíos de suministro de hidrógeno, construcción de hidrogenas o puntos de repostaje. Técnicamente inviables en cuanto a costes para el aeropuerto de Bilbao, ya

que su coste puede ser hasta cinco veces mayor que el de los sistemas hidrantes convencionales.

- Tiempos de repostaje para aeronaves. Sería importante realizar investigaciones y desarrollo para los tiempos de rotación estándar actuales.
- Operaciones no permitidas desde una perspectiva regulatoria y de seguridad. Es necesario desarrollar nuevas regulaciones para garantizar un manejo seguro de hidrógeno. Por ejemplo, las consideraciones de seguridad para la evaporación del hidrógeno deberían ser refinadas.
- Colaboración estrecha entre la industria, gobiernos y reguladores aeronáuticos.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre el marco actual del aeropuerto de Bilbao en cuanto a sostenibilidad ambiental, y el marco futuro que se espera con la aplicativa del Plan de Acción Climática, junto con las ventajas.

Marco actual	Marco futuro	Ventajas
Climatización basada en combustibles fósiles	Climatización basada en combustibles de fuente sostenibles	Reducción de emisiones CO_2
	Plan híbrido	Centro de control de energía térmica renovable
		Energía de respaldo
Energía obtenida a través de combustibles fósiles	Red de energía plan fotovoltaico	Centro de control de energía térmica renovable
Vehículos diésel/gasolina	Vehículos eléctricos	Reducción de emisiones CO_2
Flota de asistencia en tierra diésel/gasolina	Flota de asistencia en tierra más sostenible	Reducción de emisiones CO_2
No existe comercialización de SAF físico	Comercialización y uso de combustibles SAF a largo plazo	Reducción de emisiones CO_2

Tabla 2. Comparativa de la aplicativa del Plan de Acción Climática. Elaboración Propia.

3.5 Conectividad intermodal

La conectividad intermodal en un aeropuerto es esencial para garantizar una experiencia de viaje fluida y eficiente para los pasajeros. A medida que los aeropuertos evolucionan, la integración de múltiples modos de transporte se vuelve crucial para satisfacer las demandas de movilidad moderna y mejorar la accesibilidad. Este capítulo aborda las diversas opciones y propuestas para mejorar la conectividad hacia y desde el aeropuerto, centrándose en dos innovadoras soluciones: la construcción de una nueva línea de metro con una parada directa en el aeropuerto y la introducción de taxis aéreos como el Volocopter.

Acceso al Aeropuerto: Opciones Actuales

Actualmente, los pasajeros pueden llegar al aeropuerto utilizando una variedad de medios de transporte, sin embargo, para mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de viaje, es necesario considerar opciones más avanzadas y sostenibles.

En primer lugar, analizamos los accesos disponibles en el aeropuerto de Bilbao:

- Mediante autobús:
 - Bizkaibus línea A3247 Bilbao Intermodal – Aeropuerto/Aireportua
 - Lurraldebus línea DO50B San Sebastián – Zarauz – Aeropuerto de Bilbao
 - Lurraldebus línea DG56B Mondragón – Vergara – Éibar – Aeropuerto de Bilbao
- Mediante taxi:
 - Aprox. 10-15 minutos desde Bilbao
- Mediante coche:
 - Autovía BI-631 Salida 11 (túneles de Artxanda)
- Mediante coche de alquiler:
 - Avis, Budget, Europcar, Enterprise y Sixt.

En la actualidad, está en proyecto una nueva conexión ferroviaria de metro al aeropuerto, desde el 11 de noviembre de 2021. Sin embargo, el desembarco en el aeropuerto sigue sin tener fecha.

Acceso al Aeropuerto: Opciones Futuras – Conexión ferroviaria

La mayoría de los aeropuertos españoles tienen al menos una conexión ferroviaria para sus respectivos aeropuertos, facilitando enormemente el transporte a los pasajeros y brindando una conexión intermodal, fácil y rápida.

Dada la importancia de unir la villa de Bilbao con su aeropuerto, en este capítulo se estudiará el proyecto actual de la Red Ferroviaria Vasca y se contemplará su finalización cuánto antes, ya

que se considera una mejora indispensable en cuanto a conectividad intermodal para aeropuertos inteligentes. Aunque se han aprobado varios estudios informativos para la variante de la línea de metro, el proyecto no parece llegar a su fin, y según el presidente y consejero delegado de Aena, Maurici Lucena, se espera la expansión de “La Paloma” en el periodo de 2027 a 2031. Expansión que se espera, que entre otras cosas, incluya una línea de metro.



Ilustración 31. Red ferroviaria de Acceso al aeropuerto. Elaboración Propia.

El proyecto se divide en tres fases y contempla varias obras: la construcción de un nuevo túnel bajo el monte Archanda, ya completado; la reubicación de la estación de Ola y la reconstrucción de la estación de Sondika (ambas operadas por Euskotren en servicios de cercanías); y la edificación de una nueva estación en la terminal del Aeropuerto de Bilbao.

El 3 de junio de 2020, se anunció que el Gobierno Vasco había dado la aprobación definitiva para el tramo ferroviario que permitirá la conexión del metro con el Aeropuerto de Bilbao. Posteriormente, el 22 de agosto del año siguiente, Eusko Trenbide Sareak (ETS) recibió el estudio informativo para el tramo final de la conexión de la línea 3 del metro con la terminal aérea en Lujua. Finalmente, el 11 de noviembre de 2021, el Gobierno Vasco aprobó el estudio informativo para la variante La Ola-Sondika de la línea de Euskotren hacia el Valle de Asúa, aunque la fecha de llegada a Lujua aún no estaba definida.

1. Primera fase: nuevo túnel de Archanda

La primera etapa del proyecto incluyó la construcción de un túnel ferroviario nuevo bajo el monte Archanda, que separa Bilbao del Valle de Asúa. Este túnel, que tiene una longitud de 1876 metros, ya ha sido completado, junto con la remodelación de la estación de Matiko, que sirvió a la línea 4 de Euskotren (actualmente línea E3) hasta el año 2010.

El diseño de las estaciones correspondientes a las fases siguientes (Ola, Sondica y Aeropuerto) aún no ha sido confirmado.

2. Segunda fase: variante Ola – Sondica

La segunda etapa del proyecto, que abarca un tramo de 1900 metros de vía entre Ola y Sondica, se encuentra en la fase de estudio informativo. Esta fase contempla la variante ferroviaria, el traslado de la estación de Ola y la adecuación de la estación de Sondica, ambas actualmente en servicio para la línea E3 de Euskotren.

El 11 de noviembre de 2021, el Gobierno Vasco aprobó el estudio informativo para la variante La Ola-Sondica de la línea de Euskotren hacia el Valle de Asúa.

3. Tercera fase: Sondica – Aeropuerto

La tercera y última etapa del proyecto incluye el tramo entre la estación de Sondica y la del aeropuerto. El estudio de alternativas para esta fase se completó en 2005. Este tramo tiene una longitud de 2800 metros y se planea que pase por debajo de las pistas del aeropuerto.

El 22 de agosto de 2021 se anunció que Eusko Trenbide Sareak (ETS) había recibido el estudio informativo del tramo final de la conexión de la línea 3 del metro con la terminal aérea en Lujua. Los planos describen un túnel de más de 2500 metros que parte de la nueva estación subterránea de Sondica. Luego, el túnel gira a la izquierda hacia “La Paloma”, pasando por debajo de las pistas del aeropuerto. Al llegar a la terminal aérea, el túnel gira de nuevo para situarse en paralelo al edificio principal, bajo el estacionamiento principal, donde se ubicará la estación terminal. (Wikipedia La enciclopedia libre, 2024)

4. Cuarta fase: Extensiones adicionales – “Pods” “Hyperloop”

La conexión con el aeropuerto podría constituir una línea de metro independiente, con origen y destino, en una «Línea 4» con conexión a lugares céntricos de la ciudad como Abando o Moyúa.

También se estudiaría más adelante la viabilidad de una cápsula hyperloop o la implementación de “Pods” tal y como se menciona en el capítulo III del Bloque I, dentro del marco teórico. Sin embargo, se contemplan muchas adversidades para estos modos de transporte en los próximos años, habría que hacer nuevos estudios que se esperarían a largo plazo, quizás para el 2050.

A continuación, se examinará la introducción de Taxis Aéreos como transporte intermodal con destino al aeropuerto de Bilbao, acorde con el estudio realizado en el Capítulo III del Bloque I.

Acceso al Aeropuerto: Opciones Futuras – Taxis Aéreos

En la actualidad, el aeropuerto de Bilbao cuenta con 64 vehículos de la Asociación Auto Taxis Femade en la zona de llegadas, cómo se indica seguidamente en la imagen:



Ilustración 32. Localización de la parada de Taxis tradicionales. (Aena, 2024)

También mencionado en el Capítulo III del Bloque I, la movilidad del futuro contempla vehículos aéreos capaces de sortear las congestionadas vías terrestres. La mayoría de los prototipos en un estado avanzado de desarrollo son eVTOL, aerotaxis eléctricos de pasajeros capaces de despegar y aterrizar verticalmente.

Los aerotaxis necesitan infraestructuras adaptadas para el despegue y aterrizaje de los mismos, denominadas vertipuertos, con lo que las actuales estaciones de vehículos taxis como los conocemos hoy en día que funcionan en el aeropuerto de Bilbao, no serían viables para la aplicativa de dicha tecnología.

En estos próximos párrafos se escrutarán las necesidades y requisitos que el aeropuerto de Bilbao debería cumplir para poder usar aerotaxis y construir sus respectivos vertipuertos.

En primer lugar, las instalaciones deben cumplir con las normativas y reglamentos aeronáuticos establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional. Como éste tipo de aeronaves eVTOL aún están en desarrollo, no existen normativas oficiales sobre qué requisitos deben cumplir las estaciones de despegue-aterrizaje, lo que requiere primordialmente una regulación de normativas lo antes posible.

Sin embargo, para el estudio de los aerotaxis en el aeropuerto de “La Paloma” se elegirán las normativas sobre helipuertos debido a su similitud de despegue. Esta normativa se especifica en el Volumen 2 del Anexo 14 de la Convención sobre la Aviación Civil Internacional de la OACI, ICAO13. (Bajard)

En segundo lugar, la mayor parte del cálculo de las dimensiones de las distintas áreas físicas se realiza basándose en una medida que representa el ancho total de la aeronave. Esta medida será el máximo entre el ancho total y la longitud total de la aeronave. Los vertipuertos podrían tener 3 zonas indispensables que se deben tener en cuenta para su construcción: zona de aproximación final y despegue, zona de seguridad y zona de estacionamiento. Las tareas de mantenimiento de los aerotaxis se podrían ejecutar en la zona de seguridad, aunque es preferible tener otra zona dedicada exclusivamente a mantenimiento de aeronaves.

En tercer lugar, tener estaciones de salida-llegadas de aerotaxis en el aeropuerto significa que otras ciudades también deben tener vertipuertos, porque los trayectos de los usuarios serían viables entre dos estaciones. En este caso, se requiere una estación de aerotaxis mínimamente en Bilbao, debido a su población activa y conexión con el aeropuerto. En lo que respecta a la ubicación geográfica, la accesibilidad de las estaciones es de suma importancia, especialmente en su proximidad con otros sistemas de transporte, como estaciones de tren, paradas de tranvía, estaciones de metro y puntos de taxi, así como estacionamientos para automóviles, bicicletas y motocicletas, y aeropuertos.

Se considera un aumento significativo de tráfico aéreo en el momento en el que se implementen los taxis aéreos, por consiguiente, habría que evaluar la complementación correcta del flujo de aeronaves actualmente en el aeropuerto y los taxis aéreos, lo que supondría una mayor carga para los controladores aéreos y un nuevo reglamento de seguridad.

Por último, para estimar el coste total de construcción de un vertipuerto, se podrían tener en cuenta los siguientes costes:

- Coste de referencia general por tipo de edificación (CRG)
- Coeficiente de situación geográfica (CS)
- Coeficiente de aportación en innovación o acabados (CA)
- Coeficiente por rehabilitación (CH)
- Costes e ingresos de operación

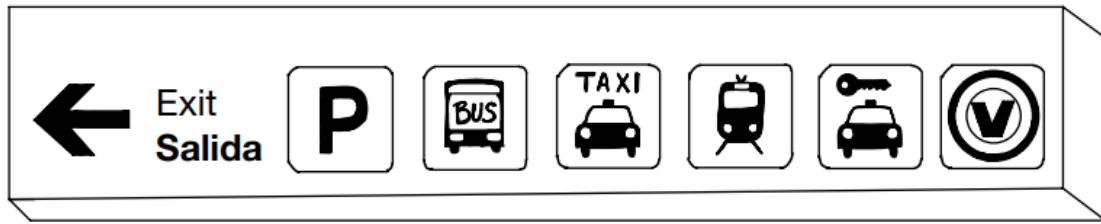


Ilustración 33. Señalización intermodal acceso/salida al aeropuerto. Elaboración Propia.

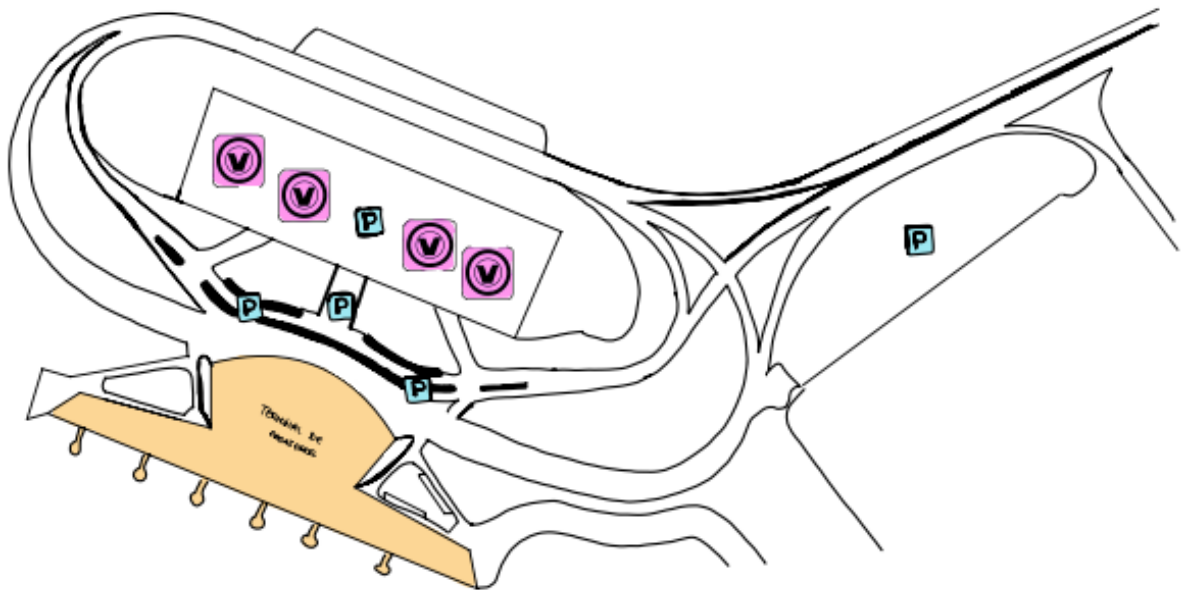


Ilustración 34. Mapa de la localización de los vertipuertos para aerotaxis. Elaboración Propia.

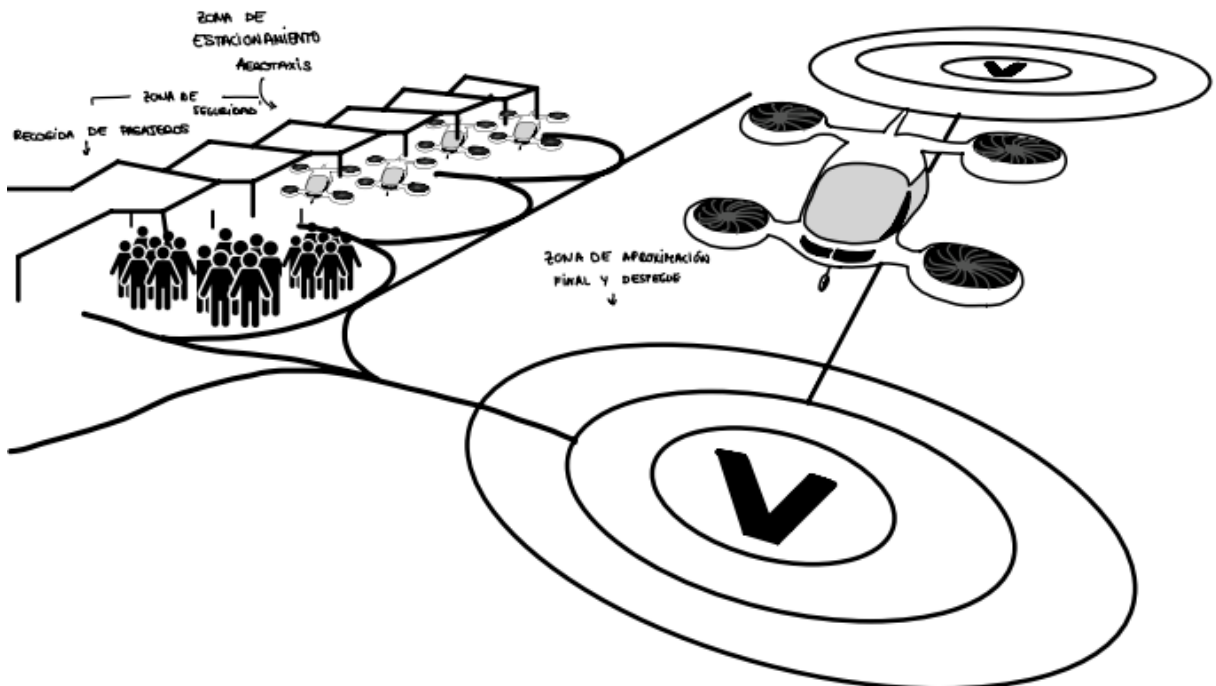


Ilustración 35. Concepto vertipuerto. Zona de seguridad, zona de estacionamiento de aerotaxis, zona de aproximación final y despegue. Elaboración Propia.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre el marco actual del aeropuerto de Bilbao en cuanto a conectividad intermodal, y el marco futuro que se espera con la aplicativa de los nuevos medios de transporte, junto con las ventajas.

Marco actual	Marco futuro	Ventajas
Acceso al aeropuerto mediante: <ul style="list-style-type: none"> • Autobús • Taxi • Coche • Coche de alquiler 	Nuevo acceso mediante conexión ferroviaria	Reducción de emisiones CO_2
		Reducción del tiempo de traslado de los pasajeros al aeropuerto
		Comodidad para los pasajeros
		Reducción del coste de traslado al aeropuerto para el usuario
		Reducción de tráfico en carretera
Inexistente	Nuevo acceso mediante aerotaxis <ul style="list-style-type: none"> • Construcción de vertipuertos 	Reducción del tiempo de traslado de los pasajeros al aeropuerto
		Conexiones directas
		Comodidad para los pasajeros
		Reducción de tráfico en carretera
		Metodología rápida y sencilla

Tabla 3. Comparativa de los nuevos medios de transporte para acceso/salida del aeropuerto. Elaboración Propia.

En conclusión, la construcción de una nueva línea de metro con destino al aeropuerto de Bilbao y la implementación de un vertipuerto para aerotaxis representan dos proyectos innovadores que prometen revolucionar la movilidad en la región. Aunque estos proyectos aún no se hayan llevado a cabo, su viabilidad técnica y potencial impacto positivo son evidentes. La nueva línea de metro proporcionaría una conexión rápida y eficiente entre el centro de la ciudad y el aeropuerto, ofreciendo a los viajeros una opción de transporte cómoda y sostenible. Por otro lado, la construcción de un vertipuerto abriría las puertas a una forma de transporte aéreo personalizado, permitiendo desplazamientos más rápidos y flexibles para los

pasajeros. Ambos proyectos contribuirían significativamente a mejorar la conectividad intermodal y la accesibilidad en la región, así como a impulsar el desarrollo económico y turístico. Es crucial que las autoridades y los inversores consideren estas iniciativas como parte integral del crecimiento y la modernización de la infraestructura de transporte en Bilbao, asegurando así un futuro más dinámico y eficiente para la movilidad urbana y aérea.

3.6 Experiencia del pasajero

En la era contemporánea, los aeropuertos se han convertido en mucho más que simples puntos de tránsito; son nodos vitales que conectan culturas, economías y personas de todo el mundo. Con el incremento del tráfico aéreo y las expectativas crecientes de los pasajeros, es imperativo que los aeropuertos evolucionen constantemente para ofrecer una experiencia eficiente, segura y placentera. Este capítulo explora diversas mejoras que pueden implementarse en los aeropuertos para optimizar la experiencia del pasajero, abarcando aspectos desde el diseño arquitectónico hasta el uso de tecnologías avanzadas.

Arquitectura de jardín:

La arquitectura de los aeropuertos juega un papel fundamental en la percepción y comodidad del pasajero. Un diseño bien pensado no solo embellece el entorno, sino que también mejora significativamente la funcionalidad y el flujo de pasajeros. La inclusión de espacios abiertos, áreas de descanso cómodas, señalización clara y accesible, y servicios adicionales como jardines interiores o zonas de entretenimiento pueden transformar la experiencia del pasajero, reduciendo el estrés y facilitando la navegación por el aeropuerto.

Sin ir más lejos, tenemos como claro ejemplo el aeropuerto de Schiphol en Ámsterdam o el aeropuerto de Jewel Changi en Singapur. Como bien se analiza en el capítulo IV, infraestructuras inteligentes del Bloque I, hay unos puntos comunes en el diseño de las infraestructuras que convierten la experiencia del pasajero en algo sencillo y práctico, mejorando la eficiencia operativa del aeropuerto y pudiendo anticipar las necesidades de los viajeros.

En los siguientes párrafos se reúnen los requisitos que la arquitectura del aeropuerto de Bilbao debe cumplir, para mejorar la experiencia del pasajero, y se describe la estrategia aplicada para la transformación digital.

- Es esencial ofrecer al pasajero una sensación de tranquilidad y libertad para reducir el estrés asociado con la estancia en un aeropuerto. Para lograrlo, se emplearán elementos como colores claros, predominará el color blanco. Este color, asociado con pureza y perfección, transmite, según la psicología, sensaciones de limpieza, inocencia, reflexión, creatividad, apertura, crecimiento, imparcialidad y paz. Además, se utilizarán tonos grises o marrones claros, y en algunos casos, se incorporará la madera.
- Se utilizarán paredes y techos de vidrio para transmitir una sensación de transparencia, limpieza y amplitud, ya que la entrada de luz natural a través de los ventanales del techo reduce la sensación de encierro para los pasajeros.

- Se minimizará el uso de paneles informativos y publicitarios para mantener un estilo minimalista que no genere estrés en el pasajero. Los paneles de información deben proporcionar datos claros y concisos para evitar confundir a las personas con un exceso de información.
- Se diseñará en la mayoría de lo posible un espacio diáfano, con un mínimo de pilares y columnas, y pocos pasillos y salas diferentes. Este diseño hará que la terminal parezca más amplia, limpia y acogedora.
- Se incluirán jardines y espacios exteriores con plantas, flores, árboles e incluso fuentes o cascadas. Un buen lugar para su diseño sería en el centro de la planta 3, con un amplio espacio de 3.900 m², entre los 36 mostradores de facturación y los controles de seguridad. Una vez franqueado los controles de seguridad, se accede a una zona con espacios comerciales y zona de embarque, dónde también se evalúa instalar unos jardines interiores.

A continuación, se muestra una imagen del interior de la Planta 3 del aeropuerto La Paloma, en la que se observa la falta de lugares verdes, no hay jardines ni cascadas. Aunque si podemos observar los techos acristalados que dejar entrar la luz solar.

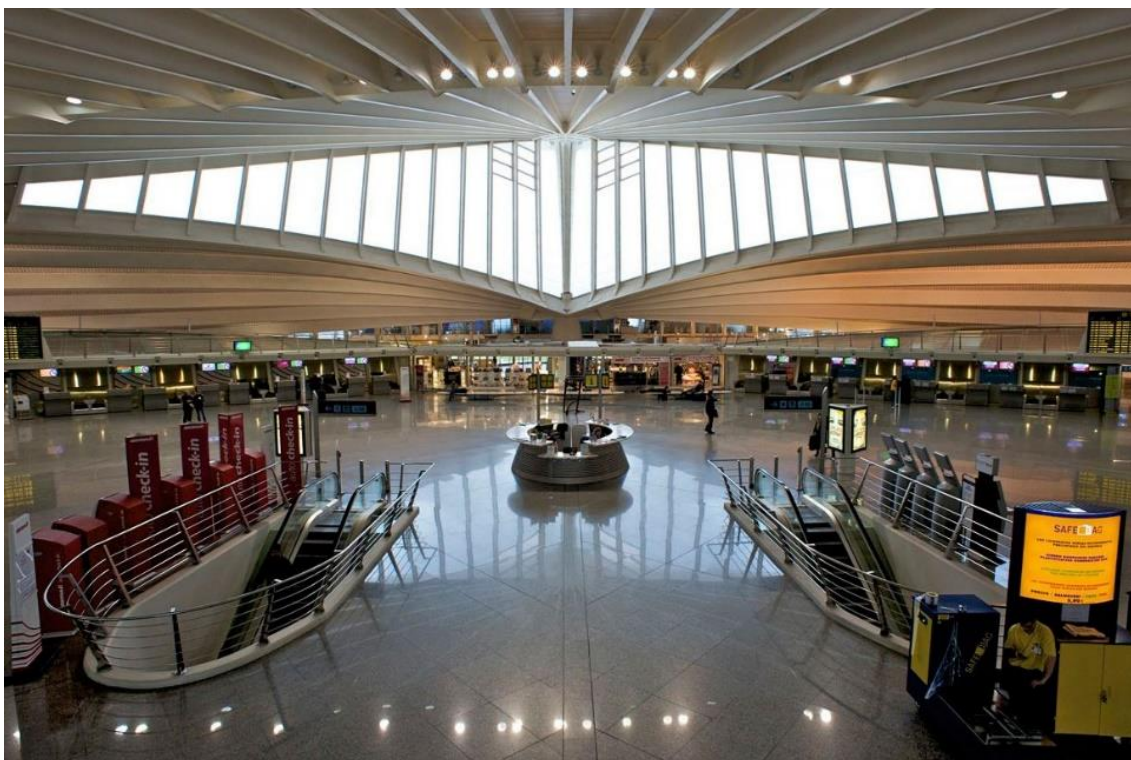


Ilustración 36. Interior de la zona de facturación para pasajeros del aeropuerto de Bilbao. (Grupo San José, s.f.)

Se pretende unificar el concepto “Airport Park” y construir algunas zonas verdes como pueden ser las que se observan en el siguiente boceto a mano. También se incluyen unas mesas para una cafetería y una cascada central.

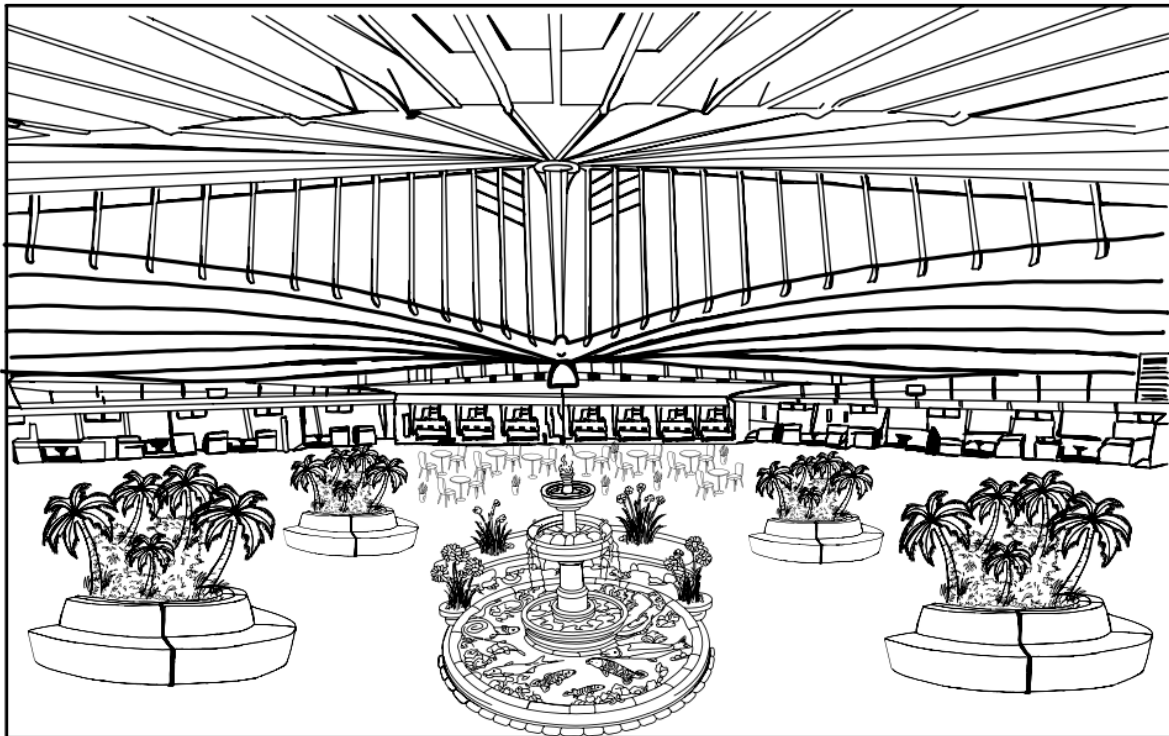


Ilustración 37. Arquitectura de Jardín aplicada a la zona de facturación para pasajeros. Elaboración Propia.

IA en Biometría Facial

La tecnología de inteligencia artificial (IA) ha irrumpido en la aviación con innovaciones que prometen revolucionar la manera en que los pasajeros transitan por los aeropuertos. La biometría facial, impulsada por IA, ofrece una solución eficaz para agilizar el proceso de identificación y embarque, minimizando tiempos de espera y mejorando la seguridad. Este apartado explorará cómo la implementación de sistemas de reconocimiento facial puede facilitar el flujo de pasajeros, desde el check-in hasta el embarque, proporcionando una experiencia más fluida y personalizada.

En la siguiente imagen se muestran los proyectos relacionados con la biometría que ha implementado Aena en los últimos años en tres aeropuertos principales de la red de España, Menorca, Madrid – Barajas y El Prat – Barcelona.

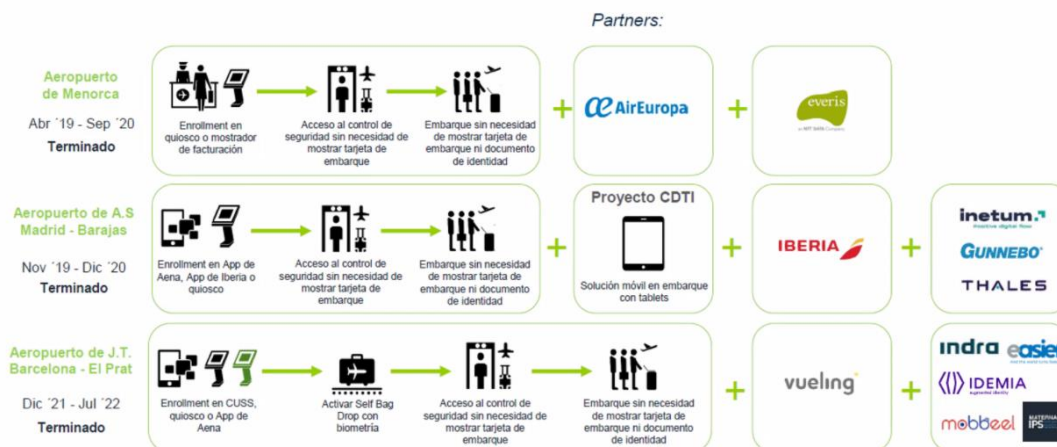


Ilustración 38. Ejemplos de proyectos de Biometría Facial de Aena. (Aena, 2024)

Debido a la diferencia de pasajeros y vuelos anuales entre el aeropuerto de Madrid-Barajas y el aeropuerto de Bilbao, se contempla una aplicación de la biometría más similar a la instalada en el aeropuerto de Menorca.

Como se menciona en el capítulo I del Bloque II, el sistema biométrico es compatible con el procedimiento legislativo de la ley de protección de datos, ya que es un proceso totalmente voluntario. Si el pasajero no desea utilizarlo puede realizar el tránsito por el aeropuerto de manera tradicional presentando la documentación correspondiente en cada punto de control establecido en cada aeropuerto.

El sistema consistiría en darse de alta en la App de Aena, en la App de la aerolínea con la que el pasajero vaya a realizar su vuelo, si esta dispone de sistema biométrico facial, o bien en los mostradores de facturación a la hora de sacar las tarjetas de embarque. El primer paso sería dar el consentimiento de tratamiento de datos personales por parte del pasajero y después completar el registro con las fotografías necesarias.

El acceso al control de seguridad se haría sin necesidad de mostrar la tarjeta de embarque, lo que puede mejorar la afluencia de pasajeros significativamente, ya que el control de seguridad es uno de los puntos más congestionados y estresantes según las estadísticas.

Por último, el pasajero podría realizar el embarque sin necesidad de mostrar la tarjeta de embarque, el documento de identidad o el pasaporte.

A largo plazo se estudiaría una digitalización completa de los sistemas de visión a base de la estrategia de usar videoanalytics tanto en plataforma, como en terminal, lo que puede ser muy beneficioso no sólo para mejorar la experiencia del pasajero sino que también para facilitar las tareas de handling o mantenimiento de aeronaves en plataforma.

Monitorización de Equipaje

El manejo del equipaje es una de las áreas que más preocupa a los pasajeros durante su viaje. La pérdida o retraso de maletas puede causar una gran frustración y estrés. La introducción de etiquetas de identificación de equipaje, equipadas con tecnologías como RFID (identificación

por radiofrecuencia) o códigos de barras avanzados, permite una monitorización en tiempo real del equipaje. Este seguimiento preciso reduce el riesgo de pérdidas y proporciona a los pasajeros la tranquilidad de saber dónde se encuentran sus pertenencias en cada momento del viaje.

Volviendo al capítulo anterior, la biometría también se puede usar para la monitorización de equipaje y la recogida de éste, en vez de usar etiquetas de identificación. Aun así, se evalúa una solución sencilla para poder aplicar los próximos años en el aeropuerto de Bilbao y por tanto, a continuación se hará una pequeña introducción a “BagID” una aplicación más sencilla que agilizará los procesos del pasajero y mejorará la eficiencia aeroportuaria.

“BagID” es una startup proveniente de Noruega, especializada en sustituir las tradicionales etiquetas de papel por unas electrónicas vía bluetooth, que aporta una solución moderna y sostenible.

¿Cómo funciona BagID?

El BagID es un aparato recargable que cuenta con una pantalla de tinta electrónica y se adhiere a la maleta mediante una funda de fijación. Colocándolo adecuadamente, queda seguro y fijo. Es bastante duradero y está diseñado para soportar impactos, lluvia y el trato rudo del equipaje.

Para utilizar el BagID, es necesario descargarse la aplicación BagID y conectarlo a través de Bluetooth. En la aplicación, se pueden añadir vuelos y realizar el check-in de las maletas. Además, se pueden monitorear las pertenencias del pasajero en cualquier momento usando *Apple Find My* y *Samsung SmartThings Find*.

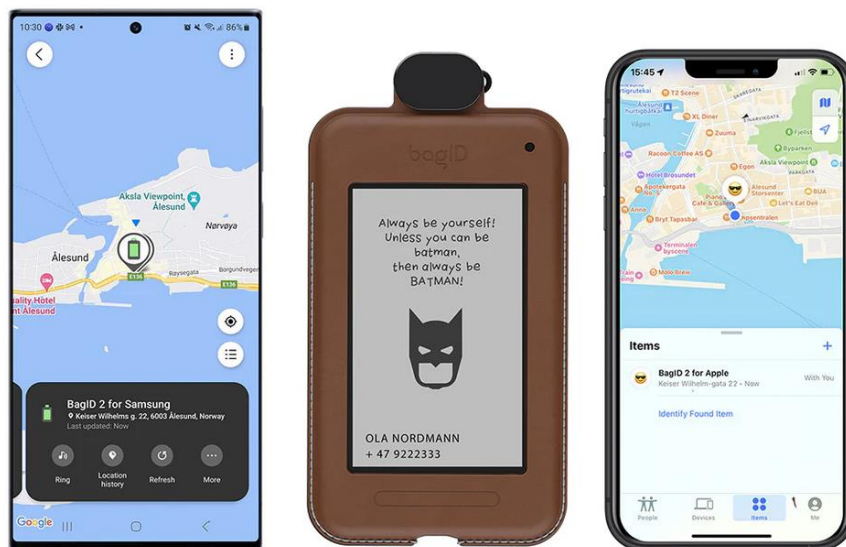


Ilustración 39. Aplicación BagID. (BagID, 2024)

Aunque esta solución dependa al completo del usuario, es importante mencionarlo porque la experiencia del pasajero mejorará con la implementación de estas nuevas aplicaciones.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre el marco actual del aeropuerto de Bilbao en cuanto a experiencia del pasajero y el marco futuro que se espera con la aplicativa de la arquitectura de jardín, la biometría y la monitorización de equipaje mediante BagID, junto con las ventajas.

Marco actual	Marco futuro	Ventajas
Arquitectura año 2000	<p>Concepto <i>Airport Park</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jardines • Cascadas • Zonas de descanso • Sensación de transparencia • Luz solar • Estilo minimalista • Espacios diáfanos 	Reducción de la sensación de estrés para los pasajeros
		Lugares que transmiten tranquilidad
		Carteles claros, directos, concisos
		No hay exceso de información
		Espacios seguros
Inexistente	<p>Nuevo acceso mediante aerotaxis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construcción de vertipuertos 	Reducción del tiempo de traslado de los pasajeros al aeropuerto
		Conexiones directas
		Comodidad para los pasajeros
		Reducción de tráfico en carretera
		Metodología rápida y sencilla
Biometría facial poco desarrollada	Implementación total de Biometría Facial	Agilización de flujo de pasajeros
		Reducción de la sensación de estrés para los pasajeros
		Procesos rápidos y sencillos
		Reducción de uso de documentación física
		Entorno más seguro

Monitorización tradicional de equipaje	Monitorización digital de equipaje: BagID	Entorno más eficiente
		Entorno más seguro
		Entorno más ágil
		Agilización de flujo de pasajeros
		Reducción de la sensación de estrés para los pasajeros

Tabla 4. Comparativa de las mejoras de la experiencia del pasajero. Elaboración Propia.

En conclusión, la mejora de la experiencia del pasajero en los aeropuertos es un objetivo multidimensional que requiere una combinación de estrategias arquitectónicas y tecnológicas. Al implementar soluciones innovadoras como el diseño centrado en el usuario, la biometría facial impulsada por IA y la monitorización avanzada del equipaje, los aeropuertos pueden crear un entorno más eficiente, seguro y agradable para los viajeros. Este capítulo ha analizado cada una de estas mejoras, ofreciendo una visión integral de cómo transformar la experiencia aeroportuaria para satisfacer las necesidades del pasajero moderno.

Capítulo 4. PLAN DE ACCIÓN FINANCIERA

La transformación del Aeropuerto de Bilbao representa una oportunidad estratégica para posicionarlo como un referente en sostenibilidad, innovación tecnológica y eficiencia operativa. Este proyecto integral incluye la implementación de tecnologías avanzadas y mejoras significativas que abarcan desde el uso de combustibles sostenibles y la generación de energía limpia, hasta la modernización de infraestructuras y la incorporación de sistemas de automatización de datos. Para asegurar la viabilidad económica y presupuestaria de esta ambiciosa iniciativa, es fundamental realizar un análisis detallado de los costos y explorar diversas fuentes de financiamiento

4.1 Presupuestos

- Combustibles sostenibles para climatización, planta de cogeneración y plan fotovoltaico.

1.000.000€ por MW de potencia bruta instalada, si Barajas tiene una planta de cogeneración de aproximadamente 33MW, calculamos que para el aeropuerto de Bilbao podríamos necesitar menos de la mitad, unos 6MW. Teniendo en cuenta que la planta de cogeneración no se construiría desde cero, sólo habría que aplicar los costes para modificar la planta a la solución híbrida propuesta. También hay que tener en cuenta el plan fotovoltaico que se estudia, en el que se proponen 3MW de planta solar. Es decir, 3MW ser repartirían para la planta de cogeneración y 3MW para las placas solares.

Teniendo un precio de referencia de aproximadamente 556.000€ por MW en paneles solares y 1.500€-2.500€ por KW instalado para plantas de biogás para plantas de cogeneración, el presupuesto de la aplicativa sería aproximadamente de 7.668.000€ sólo para la alimentación de energías sostenibles. (Roca, 2019)

- Flota de asistencia en tierra para aeronaves “*Handling eléctrico*” y puntos de recarga.

Según el pliego de condiciones técnicas de la adaptación de infraestructura eléctrica para vehículos handling y frente a contingencias en el aeropuerto Seve Ballesteros de Santander, publicado por Aena, el presupuesto total del suministro con instalación asciende a la cantidad de 70.000€. Dada la similitud entre el aeropuerto de Bilbao y el aeropuerto de Santander, se podría considerar un presupuesto similar para la estrategia del handling eléctrico.

- Consideraciones Adicionales:

Incentivos y subvenciones: En España, pueden existir incentivos y subvenciones disponibles para proyectos de energía renovable que podrían reducir significativamente el costo total.

Ahorros energéticos: Una planta fotovoltaica puede generar ahorros sustanciales en costos de energía a lo largo del tiempo, mejorando la viabilidad financiera del proyecto.

- Construcción nueva línea ferroviaria.

El estudio informativo encargado por el gestor ferroviario dependiente del Gobierno vasco, estima para este proyecto previo, que incluye también dos ramales de servicio, un plazo máximo de 61 meses de obra con un presupuesto de 80 millones de euros. (Alonso, 2021)

- Aerotaxis/Vertipuertos

Según un artículo publicado en el periódico El Confidencial por Manuel Ángel Méndez en el año 2021, Ferrovial y la empresa alemana Liliium calculaban un presupuesto entre 5.000.000€ – 10.000.000€ por instalación de vertipuerto.

Teniendo en cuenta que en el aeropuerto de Bilbao se propone la construcción de un vertipuerto con 4 puestos de estacionamiento máximo en la azotea del parking principal, el presupuesto podría elevarse hasta 7 millones, más el coste de mantenimiento de los aerotaxis.

- Arquitectura de jardín

Las labores de implantación de jardines en el aeropuerto y su posterior mantenimiento, al igual que el de una fuente central, podría presupuestarse en unos 40.000€.

- Biometría facial
 - Cámaras
 - Servidores, almacenamiento:
 - Equipos de red y conectividad
 - Licencias de software
 - Integración y desarrollo

Costo inicial: Aproximadamente 316.200€

Costos anuales de operación y mantenimiento: Aproximadamente 65.100€

TECNOLOGÍA	PRESUPUESTO
PLANTA DE COGENERACIÓN/ PLANTA FOTOVOLTAICA	7.668.000€
HANDLING ELÉCTRICO/ RECARGA	70.000€
LÍNEA FERROVIARIA	37.000.000€
AEROTAXIS/ VERTIPUERTOS	7.000.000€
ARQUITECTURA DE JARDÍN	40.000€
BIOMETRÍA FACIAL/ IOT	316.200€
TOTAL	52.094.200€ Aprox.

Tabla 5. Resumen de estimación de presupuestos. Elaboración Propia.

4.2 Fuentes de financiación

1. Inversiones Públicas y Subvenciones Gubernamentales:

- **Fondos de la Unión Europea (UE):** Programas como el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el Horizonte Europa pueden proporcionar financiación para proyectos de infraestructura, sostenibilidad y tecnología.
- **Gobierno Nacional y Regional:** Solicita subvenciones y apoyos del gobierno español y del gobierno del País Vasco para proyectos de energía sostenible y transporte.

2. Inversiones Privadas:

- **Asociaciones Público-Privadas (PPP):** Colabora con empresas privadas para financiar y operar partes de los proyectos, como la planta de cogeneración o la nueva línea ferroviaria.
- **Inversionistas Institucionales:** Fondos de inversión, bancos y otras instituciones financieras pueden estar interesados en proyectos de infraestructura y tecnología con un retorno de inversión a largo plazo.

3. Préstamos y Bonos:

- **Préstamos Bancarios:** Negocia préstamos a largo plazo con bancos nacionales e internacionales.
- **Bonos Verdes:** Emite bonos verdes que están diseñados para financiar proyectos sostenibles y ecológicos, atrayendo a inversores interesados en la sostenibilidad.

4. Programas de Financiación Internacional:

- **Banco Europeo de Inversiones (BEI):** Ofrece préstamos y apoyo para proyectos de infraestructura y sostenibilidad en Europa.
- **Bancos de Desarrollo Multilateral:** Explora opciones con el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Capítulo 5. CONCLUSIONES

El proyecto ha requerido una inversión total de aproximadamente 52.094.200€, una cifra que refleja la magnitud y la ambición de esta transformación. A través de un análisis detallado y una planificación estratégica, se ha demostrado que esta inversión no solo es viable, sino que también generará beneficios significativos a largo plazo, tanto económicos como ambientales.

Como trabajos futuros podríamos considerar un desarrollo más en profundidad sobre los temas que se han tratado en este Trabajo Fin de Máster, al fin y al cabo, con este proyecto se pretendía principalmente informar al lector sobre la idea principal y el concepto, que está abierto a un estudio posterior.

Este proyecto ha sido más que un ejercicio académico; ha sido un viaje de aprendizaje y crecimiento personal. Cada análisis, cada diseño y cada decisión tomada reflejan la pasión por crear un futuro mejor y más sostenible. La culminación de este trabajo es un recordatorio de lo que se puede lograr con dedicación y visión.

Concluyo esta etapa con un profundo sentido de logro y un renovado compromiso con la innovación y la sostenibilidad. Este proyecto es un testimonio de lo que hemos logrado juntos y una promesa de lo que está por venir. Al cerrar este capítulo, miro hacia el futuro con esperanza y determinación, lista para enfrentar nuevos desafíos y contribuir al desarrollo de un mundo más avanzado y responsable.

Idoia Viguera Gallego

REFERENCIAS & BIBLIOGRAFÍA

1. Aena. (2023). *Informe Actualizado del Plan de Acción Climática del año 2023*.
2. Aena. (2024). *Aeropuerto de Bilbao*. Obtenido de Historia: <https://www.aena.es/es/bilbao/conocenos/historia.html>
3. Aena. (2024). *Maps*. Obtenido de Aeropuerto de Bilbao: <https://www.aena.es/es/map.html?ca=BIO>
4. Aena. (2024). *Proyectos Biometría Facial*.
5. *Aeropuerto Jewel Changi*. (s.f.). Obtenido de <https://media.timeout.com/images/105744422/image.jpg>
6. Alonso, A. G. (22 de Agosto de 2021). El metro dibuja su tramo final para alcanzar el aeropuerto. *DEIA*. Obtenido de <https://www.deia.eus/bizkaia/2021/08/22/metro-dibuja-tramo-final-alcantar-1939527.html>
7. BagID. (2024). *Electronic Bag Tag*. Obtenido de Tracking: https://bagid.com/cdn/shop/files/BagID_2-tracking-brown_960x672.jpg?v=1686310075
8. Bajard, F. (s.f.). *Diseño de una estación de aerotaxis*.
9. Clean Sky 2, Fuel Cells and Hydrogen. (2020). *Hydrogen-powered aviation. A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050*.
10. Electrical and Computer Engineering Department. (September de 2003). *Engineering Report Writing*. Recuperado el 15 de abril de 2013, de Univeristy of Connecticut: <http://www.ocf.berkeley.edu/~anandk/math191/Technical%20Writing.pdf>
11. Esri. (s.f.). *Esri España*. Obtenido de Casos de Éxito: <https://www.esri.es/es-es/descubre-los-gis/casos-de-exito/transporte/aena-bim-barajas-cs>
12. ESTUDIO LAMELA Arquitectos. (2023). *Nueva Terminal del Aeropuerto de Schiphol*. Obtenido de <https://www.lamela.com/proyectos/nueva-terminal-del-aeropuerto-de-schiphol/>
13. *FA7 PODS 4RAIL*. (2024). Obtenido de <https://pods4rail.eu/>
14. *FlyBio.eus*. (2023). Obtenido de Airport-Bilbao: <https://www.flybio.eus/wp-content/uploads/images/mapa-airport-bilbao.svg>
15. *Freepik*. (s.f.). Obtenido de [12]https://img.freepik.com/premium-photo/ultrafast-vacuumsealed-pods-transport-passengers-across-vast-distances-minutes-revolutionizing-longdistance-travel_875722-1965.jpg

16. Grupo San José. (s.f.). *Bilbao Airport*. Obtenido de https://www.gruposanjose.com/data/foto/gran_1600354505_1659472586.jpg
17. Iberdrola. (2023). *Iberdrola*. Obtenido de Hidrogeneras ¿Qué es y cómo funcionan las hidrogeneras?: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeneras>
18. Iberia. (2023). Iberia Airport Services y Repsol utilizan combustible renovable en las actividades de handling del aeropuerto de Bilbao. *IBERIA*.
19. Iberia. (2023). Iberia electrifica sus equipos de servicios de ‘handling’ para reducir las emisiones de CO2 en los aeropuertos. *Business Insider*.
20. iProUP. (2020). Iberia usa vehículos eléctricos "a control remoto" para mover sus aviones en Madrid y Barcelona: así funcionan. *iProUP*.
21. L., L. (2024). La importancia de la ciberseguridad en los aeropuertos: Protegiendo infraestructuras críticas y datos sensibles.
22. Lázaro, I. (2024). Alef’s flying car already has 3,000 orders on hold.
23. Libson, S. (2022). Airport IoT Solutions: Redefine Personalization and Customer Experience. *Kellton*.
24. Magariño, J. F. (26 de enero de 2024). Sánchez: la ampliación de 2.400 millones de Barajas será la “mayor inversión en la última década en aeropuertos”. *CincoDías*.
25. Microsoft. (s.f.). *Create a bibliography*. Recuperado el 25 de April de 2013, de Office: <http://office.microsoft.com/en-001/word-help/create-a-bibliography-HA010067492.aspx>
26. Miró Julià, J. (2010). *Recursos para aprender a escribir*. Recuperado el septiembre de 2012, de <http://bioinfo.uib.es/~joemiro/RecEscr/manual.pdf>
27. Oliver Wynmann Forum . (2023). *The Evolution of Airports*.
28. PBWorks. (2013). *Citation Management Tools*. Recuperado el 25 de April de 2013, de DiRT: <https://digitalresearchtools.pbworks.com/w/page/17801648/Citation%20Management%20Tools>
29. Roca, R. (25 de Febrero de 2019). El coste medio por cada nuevo megavatio de renovable ascenderá a 1,68 millones hasta 2030: la FV, la más barata; termosolar y bombeo, las más caras. *Periódico energía*.
30. Romero, M. S. (3 de abril de 2024). El Hyperloop europeo para viajar entre Madrid y Berlín en 90 minutos: estrena su gran túnel para hacer pruebas. *El Español*.
31. Route Development Committee. (19 de Abril de 2024). *Bilbao Airport*. Obtenido de https://www.flybio.eus/wp-content/uploads/2020/03/Aeropuerto_5.jpg

32. Ruiz, J. C. (2024). El Despegue de los Gemelos Digitales.
33. Sand-Jensen, K. (26 de November de 2007). How to write consistently boring scientific literature. *Oikos*, 116(5), 723-727. Obtenido de How to write consistently boring scientific literature
34. Soto, J. L. (2023). El coche volador que despegará en 2025. *ELMOTOR*.
35. *Volocopter*. (2024). Obtenido de <https://www.volocopter.com/en>
36. Wikipedia. (15 de April de 2013). *Comparison of reference management software*. Recuperado el 25 de April de 2013, de Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_reference_management_software
37. Wikipedia La enciclopedia libre. (2024). *Aeropuerto de Bilbao*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_de_Bilbao#
38. Wikipedia La enciclopedia libre. (2024). *Conexión ferroviaria con el Aeropuerto de Bilbao*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Conexi%C3%B3n_ferroviaria_con_el_Aeropuerto_de_Bilbao
39. Wikipedia, la enciclopedia libre. (s.f.). *Hyperloop*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Hyperloop>
40. *World Airport Awards*. (10 de mayo de 2023). Obtenido de <https://i.pinimg.com/736x/b9/1e/6d/b91e6d968d1b7dd869b16d1220e9135f.jpg>
41. *Xataka*. (6 de marzo de 2024). Obtenido de https://i.blogs.es/a90e00/mas/1366_521.jpeg