



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i  
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TRABAJO FINAL DE GRADO

**TÍTULO DEL TFG: Digitalización en los aeropuertos. Aeropuerto 4.0.**

**TITULACIÓN: Grado en Ingeniería en Sistemas Aeroespaciales**

**AUTOR: Mario Di Domenico Litrán**

**DIRECTOR: Jordi Pons i Prats**

**CODIRECTORA: Jovana Kuljanin**

**FECHA: 8 de febrero del 2023**



**Título:** Digitalización en los aeropuertos. Aeropuertos 4.0.

**Autor:** Mario Di Domenico Litrán

**Director:** Jordi Pons i Prats

**Codirectora:** Jovana Kuljanin

**Fecha:** 8 de febrero del 2023

## Resumen

El cambio tecnológico está en la raíz del progreso económico y social que se ha vivido desde la primera revolución industrial. De esta manera, la tecnología está cada vez más presente en nuestra sociedad debido a que mejora la calidad de vida de las personas. Como consecuencia, a lo largo de los últimos años, se ha ido introduciendo nuevas formas de tecnología también en los aeropuertos abriendo el paso a la transformación digital en ellos.

La incorporación de las tecnologías en los aeropuertos sigue siendo un aspecto en desarrollo en la actualidad. A pesar de los grandes avances tecnológicos, muchos de los aeropuertos todavía no disfrutaban de un funcionamiento completamente digital de sus procesos del lado tierra y del lado aire. Esto produce una diferencia del nivel de digitalización entre aeropuertos que a menudo se justifica por las diversas necesidades de capacidad, recursos económicos o concienciación sobre la sostenibilidad. No obstante, la gran mayoría de aeropuertos contemplan un plan de digitalización a realizar en los próximos años. La inteligencia artificial en todas sus variantes, los vehículos autónomos motorizados eléctricamente, los drones y los sistemas biométricos son algunas de las tendencias tecnológicas que incorporan los aeropuertos como parte de su nueva infraestructura. Estas tendencias pretenden cambiar la forma de operar y gestionar las actividades aeroportuarias.

Este proyecto permite al lector comprender la utilidad y el funcionamiento de las tecnologías que encaminan a los aeropuertos a convertirse en aeropuertos inteligentes o aeropuertos 4.0. De esta forma, se evalúa la digitalización de los aeropuertos inteligentes más desarrollados y se confronta con los aeropuertos de proximidad. Asimismo, se exponen posibles cambios en forma de propuestas que beneficiarían las diferentes tareas en el lado aire y la gestión del flujo de los pasajeros en el edificio terminal.

**Title:** Airport Digitalization. Airport 4.0.

**Author:** Mario Di Domenico Litrán

**Director:** Jordi Pons i Prats

**Co-director:** Jovana Kuljanin

**Date:** February 8th of 2023

## Overview

Technological change is at the root of the economic and social progress that has been experienced since the first industrial revolution. In this manner, technology is increasingly present in our society because it improves people's quality of life. As a consequence, over the last few years, new kinds of technology have also been introduced in airports allowing digital transformation in them.

The implementation of technologies in airports continues to be an aspect in development today. Despite great technological advances, many airports still do not enjoy fully digital operation of their landside and airside processes. This produces a difference in the level of digitization between airports that is often justified by the different necessities of capacity, economic resources or sustainability awareness. However, the vast majority of airports consider a digitization plan to be carried out in the coming years. Artificial intelligence in all its variants, electrically powered autonomous vehicles, drones and biometric systems are some of the technological trends that airports incorporate as part of their new infrastructure. These trends aim to change the way of operating and managing airport activities.

This project allows the reader to understand the usefulness and performance of the technologies that guide airports to become smart airports or airports 4.0. In this way, the digitization of the most developed smart airports is evaluated and compared with proximity airports. Likewise, possible changes are exposed as recommendations that would benefit the different tasks on the airside and the passengers flow management in the terminal building.

## **Agradecimientos**

En este espacio de la memoria, me gustaría agradecer a mi familia y a mi pareja por el apoyo a lo largo de este proyecto. También me gustaría agradecer al director de este trabajo, Jordi Pons, por su tiempo y ayuda cuando lo he requerido.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Cuarta revolución industrial.....</b>	<b>13</b>
1.1.1. Tecnologías de la Industria 4.0 .....	13
1.1.2. Beneficios .....	14
1.1.3. Inconvenientes .....	15
<b>1.2. Aeropuertos 4.0 .....</b>	<b>16</b>
1.2.1. Características de los aeropuertos inteligentes .....	16
1.2.2. Proceso de digitalización de los aeropuertos .....	18
1.2.3. Entornos y procesos digitalizados en los aeropuertos .....	20
<b>CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DEL NIVEL DE DIGITALIZACIÓN EN LOS AEROPUERTOS.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1. Digitalización actual en aeropuertos inteligentes de referencia .....</b>	<b>28</b>
2.1.1. Aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol .....	28
2.1.2. Aeropuerto de Helsinki-Vantaa.....	40
<b>2.2. Digitalización actual en aeropuertos catalanes .....</b>	<b>44</b>
2.2.1. Introducción a los programas de digitalización de Aena .....	45
2.2.2. Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-el Prat T1/T2.....	47
2.2.3. Aeropuertos de Girona-Costa Brava y Reus.....	50
<b>2.3. Comparación de la digitalización entre aeropuertos.....</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO 3. PROPUESTAS DE TECNOLOGIAS EN LOS AEROPUERTOS .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1. Sistema de vigilancia y dispersión de fauna y drones recreativos mediante cetrería robótica y LiDAR en el aeropuerto Barcelona-el Prat .....</b>	<b>54</b>
3.1.1. Componentes técnicos del sistema.....	56
<b>3.2. Visión artificial en los estacionamientos de aeronaves .....</b>	<b>60</b>
<b>3.3. Sistema de seguimiento de pasajeros en el edificio terminal .....</b>	<b>61</b>
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo A. La revolución industrial y sus etapas .....</b>	<b>77</b>
<b>Anexo B. Ampliación sobre gases contaminantes más frecuentes en los aeropuertos... 78</b>	<b>78</b>
<b>Anexo C. Entrevista con Simon Prent.....</b>	<b>79</b>
<b>Anexo D. Introducción a los conceptos de HI-MACS, PCAP y SiteKiosk. ....</b>	<b>83</b>

<b>Anexo E. Datos y proyectos tipo “Aeropuerto 4.0” de Aeroports de Catalunya (Lleida-Alguaire y Andorra-la Seu d’Urgell).....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo F. Ficha de especificaciones técnicas del dron AeroHyb .....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo G. Ficha de especificaciones técnicas del Hovermap de Emesent .....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo H. Ficha de especificaciones técnicas del dron Mavic 2 de DJI.....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo I. Ficha de especificaciones técnicas de los modelos LS-S1 de LSLIDAR .....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo J. Ficha de especificaciones técnicas de los sensores de Xovis .....</b>	<b>93</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Dibujo representativo de un aeropuerto inteligente.....	17
Fig. 1.2 Esquema de la digitalización en los aeropuertos.....	21
Fig. 1.3 Detector de trazas CMW4000 de DSA Detection LLC.....	22
Fig. 1.4 Equipos ABC System basados en reconocimiento biométrico facial y/o dactilar.....	24
Fig. 1.5 Robot Troika de LG Electronics en el aeropuerto de Seoul-Incheon.....	25
Fig. 1.6 Quiosco de autofacturación de Siemens, Iberia y Aena en el aeropuerto Adolfo Suárez-Madrid Barajas.....	26
Fig. 1.7 Lectura RFID de la etiqueta del equipaje durante su facturación..	28
Fig. 2.1 Mapa del aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol.....	30
Fig. 2.2 TaxiBot remolcando un Boeing 737 de Transavia.....	31
Fig. 2.3 TractEasy en funcionamiento.....	34
Fig. 2.4 Vista desde arriba mediante IA a un estacionamiento de aeronaves.....	36
Fig. 2.5 Software basado en algoritmos de detección de daños muestra las reparaciones necesarias.....	37
Fig. 2.6 Representación de la captura de instantáneas de los equipos GSE asistiendo a la aeronave.....	37
Fig. 2.7 Dron de inspección en el aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol.....	38
Fig. 2.8 Unidad de autoservicio en el aeropuerto de Ámsterdam Schiphol.....	40
Fig. 2.9 Mapa del aeropuerto de Helsinki-Vantaa.....	41
Fig. 2.10 SnowBot durante las pruebas en el aeropuerto de Ivalo, Finlandia.....	43
Fig. 2.11 Gráfico de pasajeros en los aeropuertos de Cataluña.....	46
Fig. 2.12 Mapa del aeropuerto de Barcelona-El Prat.....	48

<b>Fig. 2.13 Quiosco de registro de identificación biométrica por reconocimiento facial en el aeropuerto de Barcelona-el Prat.....</b>	<b>50</b>
<b>Fig. 2.14 Distribución de cintas transportadoras del SATE del aeropuerto de Barcelona-el Prat.....</b>	<b>51</b>
<b>Fig. 3.1 Dron AeroHyb de Aerocamaras.....</b>	<b>58</b>
<b>Fig. 3.2 LiDAR aerotransportado Hovermap de Emesent.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 3.3 Dron Mavic 2 de DJI.....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 3.4 LiDAR LS-S1 de LSLIDAR.....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 3.5 Captura de la ejecución de la demo del software Apron AI de ASSAIA.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig. 3.6 Los sensores PC2R/PC2S, PC3 y PC4 de Xovis.....</b>	<b>64</b>
<b>Fig. 3.7 Arquitectura servidor-cliente del sistema.....</b>	<b>64</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla 1.1 Tecnologías principales de la Industria 4.0.....15**

**Tabla 2.1 Comparación de tecnologías que contribuyen a la formación de un aeropuerto inteligente.....53**

# LISTA DE ACRÓNIMOS

**IA:** Inteligencia Artificial  
**A-CDM:** *Airport Collaborative Decision Making*  
**TAM:** *Total Airport Management*  
**EDCSB:** *Explosive Detection Systems for Cabin Baggage Screening*  
**ATR:** *Automated Target Recognition*  
**AFIS:** *Automatic Fingerprint Identification System*  
**TEE:** *Trusted Execution Environment*  
**ATC:** *Air Traffic Controller*  
**WHITE:** *Winter Hazards in Terminal Environment*  
**DLR:** *Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*  
**RFID:** *Radio Frequency Identification*  
**IATA:** *International Air Transport Association*  
**SATE:** *Sistema Automático de Tratamiento de Equipajes*  
**GSE:** *Ground Support Equipment*  
**NB:** *Narrow Body*  
**WB:** *Wide Body*  
**FOD:** *Foreign Object Damage/Debris*  
**IMU:** *Inertial Measurement Unit*  
**ADAM:** *Automated Docking Add-on Module*  
**PCI:** *Pavement Condition Index*  
**LCMS-2:** *Laser Crack Measurement System 2*  
**RPAS:** *Remotely Piloted Aircraft System*  
**LVNL:** *Luchtverkeersleiding Nederland*  
**TC:** *Tomografía Computarizada*  
**API:** *Advance Passenger Information*  
**AOS:** *Airport Operational Status*  
**PMR:** *Persona con Movilidad Reducida*  
**ASPRID:** *Airport System From Intruding Drones*  
**AENA:** *Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea*  
**AESA:** *Agencia Estatal de Seguridad Aérea*  
**LIDAR:** *Light Detection and Ranging*  
**ALS:** *Airborne Laser Scanner*  
**VMC:** *Visual Meteorological Conditions*  
**IMC:** *Instrumental Meteorological Conditions*  
**UAS:** *Unmanned Aircraft System*  
**SLAM:** *Simultaneous Localization And Mapping*  
**AL2:** *Autonomy Level 2*  
**GPS:** *Global Positioning System*  
**DNN:** *Deep Neuronal Network*  
**RGDP:** *Reglamento General de Protección de Datos*  
**KPI:** *Key Performance Indicator*  
**PTS:** *Passenger Tracking System*

## INTRODUCCIÓN

La tecnología está cada vez más presente en todos los ámbitos y sectores, por lo que en los aeropuertos ocurre lo mismo. La presencia de tecnología en los aeropuertos está, sin lugar a dudas, a la orden del día en la actualidad. El concepto de digitalización en los aeropuertos se puede definir como el proceso que siguen estos en incorporar nuevas tecnologías como parte de la infraestructura del complejo aeroportuario. Por lo que el interés creciente de la transformación digital en los aeropuertos es debido al uso de sistemas inteligentes que facilitan la gestión y el control.

Este proyecto está enfocado en tres objetivos diferentes. Uno de los objetivos de este proyecto consiste en conocer el origen de las nuevas tecnologías de la industria actual y evaluar los beneficios e inconvenientes en términos generales. De esta forma se puede conocer el estado del arte de las tecnologías aplicadas en los aeropuertos en los diferentes entornos y procesos que afectan tanto al lado aire como al lado tierra.

Otro de los objetivos consiste en el análisis del nivel de digitalización y del funcionamiento de las tecnologías de varios aeropuertos concretos. De esta forma, resaltan las diferencias de los diferentes grados de digitalización, así como los diferentes enfoques tecnológicos de cada aeropuerto. Concretamente, el análisis se basa en la confrontación de dos aeropuertos que están a la vanguardia en la adopción de tecnologías junto con los aeropuertos más cercanos a la Universidad Politécnica de Cataluña.

El objetivo principal del proyecto consiste en anticipar un conjunto de propuestas compatibles con las nuevas tendencias tecnológicas actuales. En esta parte del trabajo, se argumenta la necesidad y las mejoras potenciales que se cree que se darían en caso de ponerse en marcha. Posteriormente, se explica todo el desarrollo del funcionamiento de los sistemas implementados y las tecnologías que lo componen. Escogidas estas en función del grado de adaptación de los requerimientos específicos.

La motivación personal en este proyecto de final de grado nace de un interés hacia el funcionamiento de los aeropuertos y de cómo estos se pueden mejorar. Adicionalmente, el producto que nace de la combinación de tecnologías de nueva generación junto con el entorno aeroportuario ha hecho despertar una motivación incesante en adquirir conocimiento sobre ello. Es por este motivo que he tomado esta oportunidad para formarme y aprender acerca de la optimización de los aeropuertos desde un punto de vista tecnológico.

## CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo inicial del proyecto se detalla la situación actual de la digitalización en el ámbito aeroportuario y como se ha llegado a ella. A su vez, se muestran algunos de los últimos avances en las tecnologías con la finalidad de proporcionar un aeropuerto eficiente, versátil y competitivo.

### 1.1. Cuarta revolución industrial

La cuarta revolución industrial viene precedida de la primera, segunda y tercera revolución industrial. Estas primeras revoluciones contribuyeron al desarrollo de un conjunto de transformaciones tecnológicas, sociales y económicas (ver [1]).

*En el Anexo A. La revolución industrial y sus etapas.*

Esta cuarta etapa industrial surgió a raíz de la dinámica que iban adoptando las tecnologías y el impulso de la sociedad por desarrollar la conectividad total. Además, la convergencia entre sistemas digitales y físicos que mejoran la calidad de vida del ser humano derivó en un sistema de tecnologías muy enfocadas a la automatización mediante la obtención de datos y sistemas de identificación capaces de captarlos e interpretarlos. Esta nueva etapa está dotada de un conjunto de nuevas tecnologías basadas en herramientas inteligentes cuyo enfoque consiste en la ausencia del trabajador humano en el trabajo activo. Es decir, la labor humana se reduce a la supervisión de procesos para que la tecnología avanzada sea la que trabaja de forma autónoma. Este sistema ha sido ampliamente aceptado en los sistemas productivos usados en la actualidad. (Ver [2])

La palabra “Industria 4.0” fue adoptada por primera vez por el gobierno alemán en 2011 para referirse a un plan de acción que envolvía la revisión de entornos de fabricación tradicionales para reemplazarlos por nuevos entornos digitalizados.

De forma predeterminada, la definición de Industria 4.0 viene comúnmente asociada a la producción industrial. Sin embargo, estas nuevas tecnologías de la Industria 4.0 tienen aplicaciones en dos escenarios principales. Uno pertenece, como se ha comentado, a los escenarios de producción cuyo objetivo consiste en optimizar la creación de bienes materiales en todos los sentidos. Sin embargo, el otro es aquel que tiene como finalidad optimizar los procesos en los entornos dedicados a los servicios, siendo el autoservicio un simple ejemplo muy presente en la actualidad. (Ver [3])

#### 1.1.1. Tecnologías de la Industria 4.0

Las tecnologías que se aplican en la Industria 4.0 pueden ser muy diversas y abundantes, muchas de ellas ya han sido desarrolladas, producidas y puestas

en práctica en los diferentes sectores, sin embargo, muchas otras aún están en periodo de incubación.

Las aplicaciones con más relevancia en la actualidad se detallan en la tabla 1.1 a continuación: (ver [4])

<b>Automatización</b>	Proporciona la capacidad de operatividad compartida entre maquinaria y trabajador humano con la finalidad de optimizar los procesos de forma más controlada y fiable.
<b>Big data y análisis</b>	Procesamiento de grandes cantidades de datos a grandes velocidades permitiendo la recopilación y análisis de estos.
<b>Blockchain</b>	Consiste en un libro de transacciones digital distribuido y de seguimiento de activos en una red.
<b>Computación en la nube</b>	Sistema de almacenamiento en línea de todo tipo de datos en un servidor virtual.
<b>Fabricación aditiva o impresión 3D</b>	Proceso basado en la unión de materiales capa a capa, con la idea de convertir un modelo personalizado digital en un objeto tridimensional sólido.
<b>Inteligencia artificial (IA)</b>	Sistema capaz de adoptar capacidades humanas de pensamiento y razonamiento como por ejemplo visión artificial, aprendizaje automático, razonamiento automatizado, etc.
<b>Internet de las cosas (IoT, del inglés “Internet of Things”)</b>	Permite la interacción y cooperación de una red de dispositivos u objetos físicos capaces de captar e intercambiar datos.
<b>Simulación</b>	Permite probar la operatividad de una creación o diseño mostrando datos físicos en un entorno virtual.
<b>Sistemas ciberfísicos</b>	Sistema formado por un conjunto de tecnologías cuyas capacidades computacionales permiten el control y el seguimiento de un proceso físico.
<b>Tecnología visual</b>	Las tecnologías en este ámbito consisten en la realidad aumentada y la realidad virtual. La primera consiste en un conjunto de técnicas de interacción entre el usuario y el ordenador para incorporar la coexistencia de objetos virtuales en el entorno real. Sin embargo, la realidad virtual permite al usuario controlar un entorno interactivo virtual a tiempo real.

**Tabla 1.1** Tecnologías principales de la Industria 4.0.

### 1.1.2. Beneficios

Todas estas nuevas tecnologías introducidas en estos tiempos, traen una serie de aspectos positivos tanto en entornos productivos como en entornos basados en servicios. (Ver [5] y [6])

- Eficiencia en el transporte de datos: se produce gracias a las redes de comunicación que facilitan la toma de decisiones y minimiza los tiempos de reacción. Los sistemas de procesamiento de datos como el big data o los sistemas de almacenamiento de datos en línea contribuyen a también este beneficio.
- Ahorro de costes: al introducirse la automatización y otras tecnologías punteras los procesos experimentan una reducción de tiempos, personal y porcentaje de defectos.
- Seguridad en los procesos: aumenta la seguridad de los trabajadores en algunos entornos productivos con maquinaria peligrosa. Sin embargo, en los escenarios del sector terciario, los sistemas tecnológicos implementados aportan seguridad a las empresas y clientes.
- Flexibilidad en la producción: la manufactura del producto presenta una gran adaptabilidad que deriva en la personalización y producción masiva. La fabricación aditiva es un ejemplo que impulsa el auge en la flexibilidad de un producto.
- Optimización en la calidad del producto: en los escenarios de manufacturación, las nuevas tecnologías juegan un papel clave puesto que permite una mayor precisión y evita interrupciones. Sin embargo, en los entornos del sector terciario se ofrece mayor agilidad en los procesos, menos colas y evita, en mayor medida, equivocaciones humanas.
- Auge en la competitividad entre empresas: La producción de bienes materiales de mayor calidad deriva en una mejor respuesta a las necesidades de los mercados lo que conlleva competitividad entre empresas. En el entorno de servicios sucede lo mismo, si la calidad de los servicios aumenta, aumenta también la competencia entre sociedades del sector.

### 1.1.3. Inconvenientes

A su vez, también es importante mencionar los principales problemas o riesgos que pueden surgir debido a la implementación de estas tecnologías. (Ver [5] y [7])

- Complejidad en el desarrollo de procesos: este inconveniente viene dado a raíz de la ausencia de trabajadores debidamente cualificados para el uso de cierta maquinaria. Para llevar a cabo una introducción de la digitalización efectiva en nuestro entorno, se requiere de personal preparado para manejar y desarrollar estas nuevas tecnologías.
- Altos costes y/o inversiones: en relación a lo que se comentaba antes, la necesidad de contar con personal especializado en ciertos procesos dificulta el acceder a ciertas vacantes cosa que deriva en mayores costes de salario. En cuanto a las inversiones de infraestructura necesaria, estas tienden a ser elevadas sobre todo al inicio.
- Desactualizaciones tecnológicas: la posibilidad para muchas empresas de quedar desactualizadas es un riesgo que existe en este nuevo concepto de industria. Estas tecnologías evolucionan con mucha

brevedad debido a que se desarrollan necesidades específicas nuevas que necesitan ser identificadas y solucionadas. Este último suceso, puede generar también dependencia tecnológica.

## 1.2. Aeropuertos 4.0

El término “Aeropuertos 4.0”, o también “Smart Airports”, viene denominado de la implementación, el avance y la adopción de nuevas tecnologías en los aeropuertos. Algunas de las diferentes tecnologías descritas en el apartado anterior, propias de la industria 4.0, son las que se implementan en un entorno aeroportuario para poder desarrollar cada vez más el sector del transporte aéreo. Actualmente, la adopción de tecnologías en varios entornos aeroportuarios ha incrementado por todo el mundo y tiene una proyección todavía más próspera. (Ver [3]) Estas implementaciones vienen dadas por el auge del transporte de mercancías y los viajes laborales o de ocio.



**Figura 1.1.** Dibujo representativo de un aeropuerto inteligente. (Ver [8])

### 1.2.1. Características de los aeropuertos inteligentes

Los aeropuertos inteligentes surgen, principalmente, de la necesidad de llevar a cabo una gestión, control y planificación de la operatividad del aeropuerto de manera eficiente en un entorno digitalizado. De modo que, gracias a la implementación de las tecnologías de última generación se logra traer los siguientes beneficios al aeropuerto: (Ver [9] y [10])

- La seguridad en la aviación debe seguir una gran cantidad de requerimientos obligatorios para poder asegurar la seguridad de los pasajeros y los trabajadores. Es por eso que los aeropuertos inteligentes están contribuyendo a mejorar la situación de la seguridad en la aviación con tecnología moderna. Es decir, refuerzan la seguridad y la vigilancia otorgando mayor fiabilidad en las operaciones y procesos aeroportuarios. El uso de tecnologías de monitorización biométrica o

detección de explosivos son una buena implementación para este ámbito.

- Los pasajeros esperan contar con comodidades a lo largo de las formalidades o procesos de la terminal sin inconvenientes. Es por eso que la nueva generación de aeropuertos también se enfoca en mejorar los servicios de gestión respecto al pasajero y control de vuelos. Por lo que aumenta el nivel de calidad del aeropuerto. Es decir, se intenta mejorar la percepción y la experiencia del pasajero mediante la minimización de colas y la garantía de un continuo flujo de pasajeros sin congestiones. A raíz de esto, se produce una optimización de la demanda, reducción de costes operativos y se perfeccionan las operaciones de carácter aeroportuario.
- La recolección de datos sobre pasajeros es muy importante para poder mejorar la eficiencia operacional. Los aeropuertos 4.0 apuestan por un análisis y procesamiento de big data que aporta una gran ventaja sobre el resto de aeropuertos. Estos datos proporcionan conocimiento sobre el comportamiento del pasajero, traza las localizaciones de los pasajeros, calcula el tiempo de espera de los pasajeros, etc. Es por ese motivo que los operadores de los nuevos aeropuertos están interesados en establecer una infraestructura de gestión de datos para poder tener la capacidad de mejorar el nivel de eficiencia operacional en el propio aeropuerto. Una manera de lograr predictibilidad y esa eficiencia operacional, en los aeropuertos inteligentes, es mediante el A-CDM (del inglés, “*Airport Collaborative Decision Making*”) y el TAM (del inglés, “*Total Airport Management*”). El A-CDM permite el intercambio de información táctica que cubre los procesos del lado aire en tiempo real entre operadores de aeropuertos, operadores de aeronaves, servicios de asistencia en tierra y control de tráfico aéreo. Asimismo, el uso del TAM permite compartir en tiempo real la información táctica y estratégica de todos los procesos del aeropuerto con los *stakeholders* (organizaciones involucradas con el aeropuerto).
- Los aeropuertos necesitan optimizar el espacio de las terminales para establecer actividades comerciales. De esta manera, se impulsan los ingresos no aeronáuticos maximizando el tiempo en el área de actividad comercial para reducir el coste de operación de las aerolíneas. Para ello, los aeropuertos inteligentes introducen tecnología moderna para predecir las horas pico y así disponer mejor de los recursos en la terminal.

A pesar de que la prioridad principal de los aeropuertos es la seguridad en todos los ámbitos, en este sector, la gestión del aeropuerto también se centra en lograr operaciones más efectivas en beneficio al cliente. Es decir, aerolíneas principalmente y pasajeros secundariamente. (Ver [10]) De esta forma, las iniciativas digitales no involucran sólo los aspectos tecnológicos que impactan en el entorno aeroportuario respecto al pasajero, sino que impactan en muchos otros entornos. Los aeropuertos, las aerolíneas, los servicios de asistencia en tierra y los servicios de navegación aérea son los nuevos beneficiados, cada uno de manera diferente, de la digitalización.

Adoptar y mantener un aeropuerto en un entorno digitalizado también da lugar a una serie de riesgos. Los campos principales donde se presentan riesgos son la instalación de la infraestructura, la seguridad o ciberseguridad y los aspectos sociales y ambientales. (Ver [11])

- En el momento de iniciar el proceso de instalación y prueba de las nuevas tecnologías, las operaciones y el nivel de servicio del aeropuerto pueden verse afectados negativamente pudiendo afectar incluso la seguridad. Sin embargo, esto puede ser mitigado con facilidad desarrollando diferentes estrategias de gestión para garantizar las operaciones y las comodidades del pasajero.
- En relación a la seguridad o ciberseguridad, existe un riesgo de privacidad y seguridad generalizado debido a la posibilidad de que los datos recopilados y transmitidos sean pirateados o no son confiables. Muchos de estos datos pueden tratarse de información personal de pasajeros, información bancaria o datos confidenciales de operaciones aéreas. De esta forma, resulta muy importante proteger estos datos de posibles ataques cibernéticos mediante un modelo de ciberseguridad robusto y fiable.
- La presencia de riesgos de carácter social viene dada por el uso de las tecnologías biométricas o visión artificial debido que pueden considerarse intrusivas con los usuarios. A su vez, la manipulación y mantenimiento de estas tecnologías resulta complejo por lo que se requiere de personal con conocimientos.
- La avería de algunas de las fuentes de electricidad del aeropuerto puede provocar la inoperatividad de muchas de las funciones propias de un modelo de aeropuerto digitalizado. Por lo es muy importante contar con fuentes de energía eléctrica alternativas en caso de avería o emergencia.
- Finalmente, se presenta un riesgo ambiental al mejorarse la eficiencia de las operaciones aéreas, puesto que se incrementa la demanda y podría aumentar las emisiones de gases contaminantes. Como contraposición, la implementación de sistemas enfocados en la sostenibilidad del aeropuerto puede mitigar en el impacto ambiental que provoca.

### **1.2.2. Proceso de digitalización de los aeropuertos**

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la industria 4.0 es el resultado de un desarrollo precedido de tres fases anteriores. Paralelamente, en tiempos cronológicos diferentes, en los aeropuertos ocurre lo mismo. Es decir, la existencia de un crecimiento veloz en el volumen de pasajeros ha generado una presión en los gestores aeroportuarios para reconsiderar ciertos aspectos y tratar de adoptar tecnologías que puedan aportar nuevos ingresos o mejorarlos. (Ver [12]) Este proceso de digitalización comenzó a desarrollarse a mediados de 1980 hasta la actualidad y ha derivado en tres fases previas hasta alcanzar el nivel de digitalización actual. (Ver [13]) Sin embargo, en la actualidad, los cuatro tipos de aeropuertos existentes, en función de su nivel de digitalización, están presentes y operativos. Los diferentes niveles de digitalización permiten a

los gestores del aeropuerto adaptar el nivel en función de las necesidades de crecimiento y capacidad de cada aeropuerto.

A continuación, se detallan las características y funciones de los tres tipos de aeropuertos anteriores a los ya conocidos aeropuertos inteligentes o aeropuertos 4.0;

#### *1.2.2.1. Aeropuerto 1.0.*

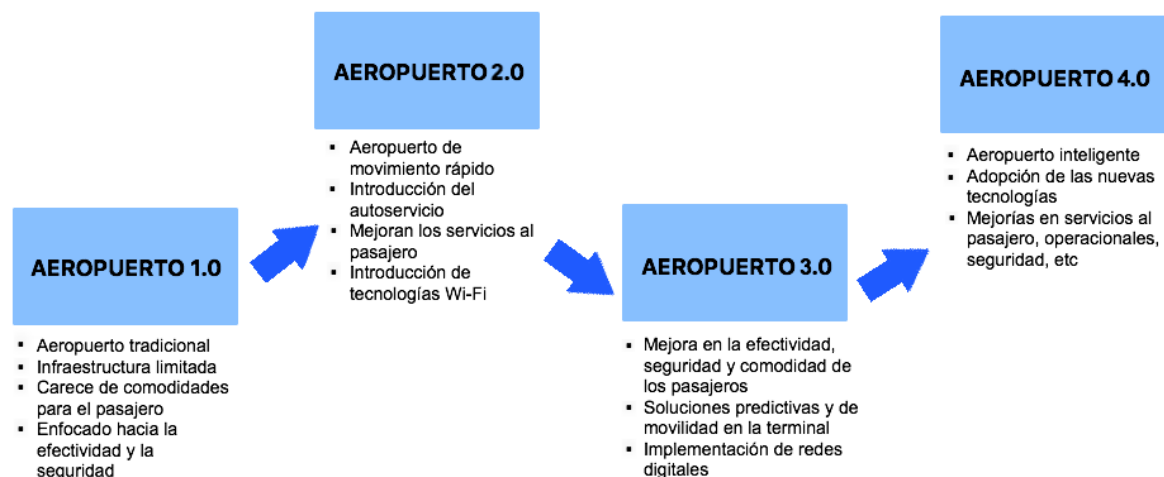
Este es el modelo que da lugar al considerado aeropuerto tradicional donde todos los procesos se realizan manualmente. El objetivo de esta fase es simple. Se basa en buscar la efectividad y la seguridad. Este último, se facilita por la infraestructura limitada con la que cuenta. (Ver [12] y [14]) En otras palabras, este tipo de aeropuertos concentran sus capacidades en gestionar despegues, aterrizajes y rodaje en pista de manera segura. A su vez, se proporcionan los servicios más esenciales de asistencia al avión en tierra. Por lo que se carece de la suficiente atención a las comodidades de los pasajeros y se presenta una estrategia más amplia para el correcto funcionamiento del aeropuerto. (Ver [15])

#### *1.2.2.2. Aeropuerto 2.0.*

Los aeropuertos 2.0 son aquellos que han sido los primeros en adoptar tecnologías digitales en algunos procesos aeroportuarios implementando, sobre todo, el autoservicio. Normalmente, éste se aplica de forma parcial en el proceso de facturación. (Ver [12] y [13]) Las diferentes áreas comerciales también se dotan de tecnologías operativas puesto que las entidades comerciales demandan una compartición de datos rápida y sin problemas. En resumen, este tipo de aeropuertos se inclinan hacia un modelo de aeropuertos de movimiento rápido con la finalidad de poder brindar operaciones con mayor rendimiento y así mejorar los servicios y comodidades del pasajero. (Ver [15]) Es importante mencionar también la introducción de las tecnologías Wi-Fi en este modelo de aeropuertos. (Ver [13])

#### *1.2.2.3. Aeropuerto 3.0.*

La principal caracterización de los aeropuertos 3.0 es la adopción de las tecnologías que permiten el autoservicio aplicado en todos los servicios al pasajero. Sin embargo, también se aplican soluciones predictivas y de movilidad en el edificio terminal mediante controles operativos automatizados. (Ver [12] y [13]) En este modelo aeroportuario se produce una mejora sustancial en la eficiencia de las operaciones, los servicios de pasajeros y seguridad. Por lo que, sin duda, la experiencia del pasajero mejora puesto que se ofrece una gran variedad de servicios. Esto ocurre gracias al funcionamiento de sistemas en la plataforma digital que terminan convergiendo con redes digitales. Estas redes son las que brindan el control del intercambio de información a tiempo real creando operaciones, integrando procesos y generando una nueva fuente de ingresos. (Ver [15])



**Figura 1.2.** Esquema de la digitalización en los aeropuertos.

### 1.2.3. Entornos y procesos digitalizados en los aeropuertos

La gestión del aeropuerto debe tener la capacidad de lidiar con las condiciones internas y externas del aeropuerto y adaptar los recursos digitales en los diferentes procesos aeroportuarios. A pesar de ello, el hecho de proporcionar nuevas tecnologías a un aeropuerto trae muchos beneficios tal y como ya se ha comentado. Para poder llevar a cabo un rendimiento más optimizado de los procesos y operaciones, los encargados de innovación de los aeropuertos inteligentes centran sus labores en tres principales aspectos: uso de nuevas tecnologías digitales para obtener información, mejorar la experiencia del pasajero y agilizar operaciones. Estos tres objetivos tienen tecnologías diferentes en función de la tarea y el entorno aeroportuario. Los entornos más significativos donde se está llevando a cabo un mayor impacto de las tecnologías inteligentes son los que se mencionan a continuación.

#### 1.2.3.1. Seguridad aeroportuaria

Como es bien sabido, la seguridad en la aviación comercial es de vital importancia a nivel mundial y ha tomado aún mayor relevancia desde los acontecimientos acaecidos en Nueva York y Washington D.C. en septiembre de 2001. Es por ello que las tecnologías de la cuarta revolución industrial, que aportan seguridad en un entorno aeroportuario, se han ido incrementando principalmente mediante la adopción de inteligencia artificial o sistemas biométricos.

Sin embargo, una de las tecnologías mayormente extendidas en la mayoría de aeropuertos de todo el mundo son los sistemas para la detección de trazas de explosivos, narcóticos y radiaciones. (Ver [16]) La funcionalidad de esta maquinaria consiste en detectar partículas no visibles en objetos del equipaje o incluso las manos del pasajero. La principal finalidad es interceptar a los

pasajeros que hayan realizado manipulaciones con tales elementos o sustancias. (Ver [17])

Un ejemplo de sistema dotado de IA son los sistemas de detección de explosivos para la inspección del equipaje de mano (EDCSB, del inglés “*Explosive detection systems for cabin baggage screening*”). En los últimos años, el uso de estos sistemas se ha convertido en una realidad para algunos aeropuertos en el mundo. Los EDCSB son unos sistemas que hacen uso de la tecnología de rayos X junto con la inteligencia artificial que aporta la automatización en la maquinaria en el momento de detectar dispositivos explosivos. El estado del arte de estos sistemas se conforma por dos tipos de niveles o usos del sistema. Uno consiste en el uso de la automatización que aporta el software de reconocimiento automático de objetos (ATR, del inglés “*Automated Target Recognition*”) para la decisión de si el objeto analizado contiene una amenaza o no. Sin embargo, el otro consiste en el uso de dicho software como método de ayuda en el diagnóstico por parte del operario de seguridad del aeropuerto. (Ver [3] y [18])



**Figura 1.3.** Detector de trazas CMW4000 de DSA Detection LLC. (Ver [19])

Como se ha dicho antes, los sistemas biométricos también son otro elemento clave para garantizar la seguridad en un aeropuerto. Sin embargo, esta vez, asegurando la identificación personal de los pasajeros de forma automatizada en facturación, filtro de seguridad, control de pasaportes y puerta de embarque. Es importante recalcar que estas tecnologías biométricas ya están operativas en muchos de los países europeos del espacio Schengen.

En la actualidad las biométricas que se han implementado en los aeropuertos se basan en reconocimiento facial, dactilar y ocular.

- Las tecnologías de reconocimiento facial se basan en la identificación y verificación de una persona vinculada con una imagen digital previamente registrada. Este reconocimiento se realiza mediante el análisis de las características faciales las cuales se almacenan y se cotejan con una base de datos para la identificación del pasajero. Este

cotejo que realiza el sistema consiste en la comparación del individuo en cuestión, con la base de datos entera. La distancia entre los ojos, la forma de los pómulos u otros rasgos faciales son algunas de las características de percepción facial que el sistema mide.

Los aeropuertos de los países australianos y neozelandeses, actualmente, también han ido incorporando esta tecnología de reconocimiento facial a su seguridad aeroportuaria. A su vez, el departamento de aduanas y protección fronteriza de los Estados Unidos realizó una prueba de esta tecnología en el Aeropuerto Internacional de Washington Dulles en 2015. (Ver [20])

Si bien es cierto, existen algunas críticas por el uso de esta tecnología relacionadas con temas de confidencialidad. Muy a pesar de ello, los aeropuertos que han adoptado este sistema han recalcado la importancia de registrar índices de seguridad favorables. (Ver [21])

- El reconocimiento mediante las huellas dactilares es una buena manera de distinguir e identificar la identidad de un pasajero, pues es bien sabido que éstas son únicas en cada persona. Por lo tanto, los sistemas de identificación dactilar automática (AFIS, del inglés, "*Automatic Fingerprint Identification System*") son usados para identificar los pasajeros de forma automática y así aportar consistencia a la seguridad del aeropuerto. Para llevar a cabo el proceso de identificación mediante esta tecnología, el usuario debe permitir previamente el registro de su huella mediante un escaneo, el cual puede ser óptico, capacitivo o ultrasónico. Posteriormente, la información de la huella será almacenada en una base de datos. Cuando se requiera, el sistema escaneará la huella dactilar y la procesará mejorando la calidad e iniciando el proceso de verificación. En la verificación, la huella será cotejada con la base de datos mediante un algoritmo de coincidencia para encontrar similitudes e identificar al pasajero. (Ver [22])

Evidentemente, la manipulación de datos de huellas dactilares se realiza dentro de un Entorno de Ejecución Confiable (TEE, del inglés, "*Trusted Execution Environment*") que garantiza la confidencialidad e integridad de los datos cargados dentro del procesador principal del sistema.

Actualmente, las autoridades estadounidenses están realizando pruebas con esta tecnología biométrica para evaluar el impacto operativo y de seguridad utilizando bases de datos gubernamentales. En estas pruebas, la huella dactilar hace la función de tarjeta de embarque y documento de identidad, por lo que los procesos de control de pasajeros se ven ampliamente agilizados. (Ver [20])

- El reconocimiento ocular ha demostrado ser muy útil y versátil en términos de seguridad puesto que es una forma rápida y precisa de identificar un individuo. Este sistema se basa en el iris del ojo. El iris se corresponde con la parte coloreada del glóbulo ocular y tiene características diferentes en cada persona.

La captura de imagen del iris se debe realizar con una cámara capaz de fotografiar una imagen en un rango de 700 a 900 nanómetros para que el iris de la persona no lo detecte. Posteriormente, los patrones oculares deben ser codificados y cotejados con algoritmos comparativos hasta que se dé una coincidencia de patrones compatibles.

Este tipo de sistema biométrico ha sido ya introducido en varios aeropuertos del mundo como el aeropuerto de Ámsterdam. A su vez, los aeropuertos de Nueva York (JFK), Londres Heathrow y Washington Dulles han implementado sistemas de carácter similar. (Ver [23]) Es importante destacar que los Emiratos Árabes Unidos (EAU) han instalado un sistema biométrico basado en el reconocimiento ocular. Este sistema ha sido aplicado en los controles fronterizos aéreos, marítimos y terrestres con la finalidad de garantizar la seguridad del país. Los EAU cuentan con la base de datos central más grande de patrones codificados de iris que diariamente se comparan en sus aeropuertos con los pasajeros que entran al país. (Ver [20])



**Figura 1.4.** Equipos ABC System basados en reconocimiento biométrico facial y/o dactilar. (Ver [24])

#### 1.2.3.2. *Servicios al pasajero*

Principalmente, los tiempos de espera para las diferentes formalidades en un aeropuerto, constituyen una parte muy importante en el nivel de calidad del aeropuerto. Los pasajeros esperan poder tener una experiencia satisfactoria cuando se desplazan por la terminal o realizan las diferentes formalidades. Es por esta razón que la implementación de tecnologías de nueva generación puede ayudar a cubrir la demanda de tiempos de espera mínimos. Para ello, algunas tecnologías destinadas a ello e incluso a mejorar los servicios enfocados al pasajero son la presencia de robots en el aeropuerto, los quioscos de autoservicio para la facturación e incluso el uso de dispositivos móviles.

La presencia de robots en los aeropuertos aún es poco frecuente en los aeropuertos. La robótica aeroportuaria aun es un concepto nuevo que está en desarrollo e introduciéndose poco a poco. Sin embargo, en algunos aeropuertos ya están operativos robots de diferentes disciplinas.

En el aeropuerto de Seoul-Incheon, están operativos dos tipos de robots con diferentes funciones. Estos robots fueron desarrollados por la empresa LG Electronics con la finalidad de facilitar las actividades del aeropuerto más congestionado de la península coreana. Por el momento, el aeropuerto cuenta con la presencia de un robot asistente a los pasajeros, un robot de limpieza y un robot que transporta el equipaje.

Existen dos robots asistentes, uno es Troika y el otro es Airstar ambos pueden hablar varios idiomas y están dotados de una gran pantalla con la que el pasajero puede interactuar. La principal funcionalidad de este tipo de robots consiste en escoltar al pasajero que lo desee a su puerta de embarque una vez éste ha escaneado su tarjeta de embarque. Sin embargo, estos robots tienen múltiples cámaras instaladas con tecnología biométrica de reconocimiento facial para poder recordar al usuario en futuras interacciones. El robot portaequipaje tiene un funcionamiento muy similar a este último, se diferencia por tener cavidades donde poder colocar el equipaje, y llevarlo junto al pasajero hasta la puerta de embarque.

El robot de limpieza tiene un funcionamiento muy simple y es útil para mantener el suelo del edificio terminal en óptimas condiciones. (Ver [25] y [26])



**Figura 1.5.** Robot Troika de LG Electronics en el aeropuerto de Seoul-Incheon. (Ver [27])

Es bien sabido que la facturación de equipaje de maletas es uno de los cuellos de botella del aeropuerto donde se forman colas y los tiempos de espera se hacen más extensos. Para contribuir a aligerar la carga de trabajo de los mostradores de facturación y acelerar el despacho del pasajero en el aeropuerto, se han adoptado los quioscos de autoservicio. Probablemente, esta tecnología sea la más extendida por los aeropuertos del mundo puesto que está operativa en múltiples aeropuertos de diferentes países. El objetivo de estos quioscos es crear una solución competitiva que ofreciera servicios nuevos con énfasis en la mejora de la eficiencia en el proceso de facturación de equipaje. El funcionamiento de estos quioscos no va más allá de la simple interacción del pasajero con la pantalla para imprimir las etiquetas para el

equipaje y/o la tarjeta de embarque. (Ver [28]) Algunos quioscos más novedosos traen consigo un sistema de autofacturación del equipaje incorporado tal y como se muestra en la figura 1.6, a continuación:



**Figura 1.6.** Quiosco de autofacturación de Siemens, Iberia y Aena en el aeropuerto Adolfo Suárez-Madrid Barajas. (Ver [29])

El uso de los dispositivos móviles de los pasajeros del aeropuerto puede llegar a ser muy útil para proveer y adquirir información. Esto ocurre gracias a los servicios de internet móvil en dos plataformas principales: sitios web diseñados para pantallas pequeñas y aplicaciones móviles con un software diseñado para un sistema operativo de móvil específico. El servicio más común en este tipo de plataformas son las notificaciones del estado de los vuelos. Sin embargo, los aeropuertos planean introducir otros servicios móviles como tiempos de espera, seguimiento del equipaje, disponibilidad del aparcamiento o información más personalizada. (Ver [30]) Para dar este tipo de servicios, algunos aeropuertos se planean implementar una red con múltiples sensores para recolectar datos y usar la inteligencia artificial para analizarlos y dar una respuesta coherente.

Un ejemplo de aeropuertos que actualmente ya han adoptado estas tecnologías son el aeropuerto intercontinental George Bush en Houston, Texas y el aeropuerto internacional Hongqiao de Shanghai, China. El primero implementó el uso de datos recogidos por dispositivos móviles con Bluetooth para poder identificar fuentes de congestión. No obstante, el aeropuerto chino desarrolló un modelo para predecir la ocupación y el tiempo de permanencia de los pasajeros basados en el posicionamiento en interiores mediante tecnología Wi-Fi. (Ver [3])

### 1.2.3.3. Gestión y control del tráfico aéreo

La gestión y el control del tráfico aéreo ha dependido tradicionalmente por controladores aéreos (ATCs, del inglés "Air Traffic Controller") humanos debido a la gran responsabilidad que recae en ellos. Con los años, el tráfico aéreo se ha incrementado considerablemente, por lo que se ha producido una complejidad operativa en la gestión y el control del tráfico aéreo. Los controladores aéreos deben realizar una gran variedad de tareas, como

monitorear el tráfico aéreo, anticipar las pérdidas de separación entre aviones, intervenir en resolver estos conflictos e intentar mantener un flujo de aviones continuado. Para ello, la combinación de sistemas digitales automatizados junto con el criterio humano de los controladores del tráfico aéreo, puede ser beneficioso.

Un ejemplo claro en este campo es el sistema de riesgos invernales en el entorno de la terminal WHITE (del inglés "*Winter Hazards in Terminal Environment*") desarrollado por el centro aeroespacial alemán (DLR, del alemán "*Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*") y apoyado por el aeropuerto de Múnich. WHITE es un sistema automatizado capaz de asimilar múltiples fuentes de datos a tiempo real y evaluar la problemática ante aspectos del clima invernal como la diferencia entre la nieve y la precipitación, entre otros. De esta forma, se facilita la toma de decisiones por parte de los ATCs. Como segundo elemento principal, WHITE cuenta con un enfoque de detección participativa basada en el uso de dispositivos con sensores de alta capacidad que permiten a los participantes del programa informar sobre observaciones meteorológicas desde cualquier lugar en cualquier momento. De modo que se emplea el posicionamiento de los teléfonos, como el GPS incorporado, en combinación con el acceso móvil a Internet. (Ver [31])

Otro ejemplo se sitúa en el aeropuerto principal de la ciudad parisina, el aeropuerto París-Charles de Gaulle. En este aeropuerto, se consiguió desarrollar un sistema basado en tres modelos de predicción inmediata de niebla que facilita a los ATCs operar con condiciones adversas de visibilidad baja. (Ver [32])

#### 1.2.3.4. Logística aeroportuaria

Junto con el cargo, a menudo el término de logística aeroportuaria viene íntimamente ligado con el término *handling*. Este término inglés engloba el conjunto de actividades relacionadas con la asistencia en tierra a las aeronaves. Es decir, son las operaciones que se realizan para llevar a cabo la carga y la descarga de pasajeros, equipaje y mercancías. A continuación, se menciona una de las tecnologías más comunes que se han adoptado para llevar a cabo la distribución de equipajes en la terminal de un aeropuerto.

La identificación por radiofrecuencia, RFID (del inglés, "*Radio Frequency Identification*") es una tecnología con muchas oportunidades para los equipajes y el cargo aéreo. Puesto que en los últimos años se ha convertido en una de las tecnologías más prometedoras de la logística en la aviación. La IATA (del inglés, "*International Air Transport Association*") tiene definido un protocolo donde establece los requerimientos para aplicar la tecnología RFID.

RFID se compone por cuatro componentes elementales: una etiqueta/transpondedor, un lector, una antena y una base de datos computarizada. Esta tecnología se utiliza para poder identificar y rastrear automáticamente los elementos que tengan etiquetas adheridas. Estas etiquetas están dotadas de un microchip capacitado para almacenar datos y se diferencian por un número de serie único entre ellos. (Ver [33])

La principal aplicación de la identificación por radiofrecuencia es en el sistema automático de tratamiento de equipajes (SATE). El SATE consiste en toda una red de cintas transportadoras encargadas de transportar el equipaje de forma automatizada dentro del edificio terminal. Mas concretamente, se encarga de llevar el equipaje desde el mostrador de facturación, hasta el punto donde los operadores de *handling* recogen el equipaje para llevarlo hasta la aeronave. El sistema de identificación y control de este sistema se lleva a cabo comúnmente mediante RFID. Por lo tanto, cada bandeja del SATE es controlada y ubicada en el sistema, por lo que las posibilidades de extravío de un equipaje son mínimas. (Ver [34])



**Figura 1.7.** Lectura RFID de la etiqueta del equipaje durante su facturación.  
(Ver [35])

## **CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DEL NIVEL DE DIGITALIZACIÓN EN LOS AEROPUERTOS**

El siguiente capítulo recoge un análisis sobre las tecnologías digitales actuales en aeropuertos que son una referencia en su funcionamiento como aeropuerto inteligente. En su turno, también se realiza el mismo análisis contando con los aeropuertos más significativos del territorio catalán y finalmente, se muestra una comparación entre todos.

En esta parte del proyecto se muestra la repercusión ante la adopción de tecnologías de cuarta generación y como éstas han contribuido a agilizar las funciones que se dan en una terminal aeroportuaria.

### **2.1. Digitalización actual en aeropuertos inteligentes de referencia**

Como ya se ha visto de forma teórica, la digitalización aplicada a aeropuertos proporciona eficiencia en la realización de procesos aeroportuarios que contribuye en la comodidad hacia los clientes del aeropuerto (aerolíneas y pasajeros) y los trabajadores del mismo. A pesar de ello, no en todos los aeropuertos del mundo existe un nivel elevado de digitalización. Para llevar a cabo una transformación digital en un aeropuerto se requiere de una inversión inicial elevada. Por lo que resulta crucial el soporte de un gobierno con recursos o unos gestores e inversores interesados en mejorar el aeropuerto. Por otro lado, la demanda y la capacidad del aeropuerto son otros factores que determinan la necesidad de llevar a cabo todo un proceso de digitalización completa o parcial. Todos estos factores encajan bien en el aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol y en el aeropuerto de Helsinki-Vantaa.

Un gran ejemplo de aeropuerto inteligente es el aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol debido a sus múltiples proyectos que buscan la automatización de los procesos y operaciones. La necesidad de cubrir de manera eficiente la alta demanda de pasajeros y la motivación por minimizar el impacto medioambiental han sido los principales impulsores de la implementación de las nuevas tendencias tecnológicas en este aeropuerto.

Otro de los aeropuertos que destacan por su elevada digitalización es el aeropuerto de Helsinki-Vantaa. El complejo aeroportuario finlandés cuenta con varios proyectos relacionados con las nuevas tecnologías y centra sus recursos en un plan de innovación que pretende hacer atractivo el aeropuerto desde varios puntos de vista.

#### **2.1.1. Aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol**

El aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol situado en los Países Bajos es uno de los aeropuertos más grandes y con mayor capacidad de Europa. Concretamente, 71,7 millones de pasajeros transitaron por las instalaciones del

aeropuerto neerlandés situándolo en tercera posición en el ranking de aeropuertos más congestionados del continente europeo en 2019. (Ver [36]) En ese mismo año, dicho aeropuerto fue el cuarto de Europa en el transporte de toneladas de carga con 1,57 millones de toneladas. (Ver [37]) Además, este aeropuerto cuenta con la operatividad de seis pistas, las cuales tres de ellas son paralelas entre ellas. En relación a la organización de terminales, el aeropuerto usa el concepto de un solo edificio terminal dividido en tres “halls” de salidas diferentes. En resumen, hablamos de un aeropuerto con grandes dimensiones que ocupa 2787 hectáreas. (Ver [38]) En la figura 2.1 se muestra la distribución de las pistas (color grisáceo) así como la terminal vista desde la planta (color azulado).



**Figura 2.1** Mapa del aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol. (Ver [38])

El aeropuerto de la capital neerlandesa es globalmente conocido por ser uno de los más transitados a nivel europeo y mundial, tal y como se ha destacado ya previamente. Sin embargo, también es conocido por convertirse en el aeropuerto digitalizado más grande del mundo. Para ello, la gestión y dirección del aeropuerto promueve y participa activamente en la exploración de nuevas tecnologías. (Ver [39]) La entidad operadora del aeropuerto, Royal Schiphol Group, quiere reducir drásticamente las emisiones de gases contaminantes para 2030 y convertirse en el aeropuerto más sostenible del mundo en 2050. (Ver [40]) En su mismo momento, los principales objetivos que motivaron la transformación digital fueron dos. El primero está enfocado al cliente principal del aeropuerto, las aerolíneas. Las aerolíneas buscan en un aeropuerto una relación coste-operación eficiente, por lo que se implementaron operaciones inteligentes y coordinación proactiva. Es decir, garantizar el control del aeropuerto donde cada aeronave despegue en hora con todos los pasajeros y equipajes embarcados de manera segura. El otro motivo principal fue el

objetivo de poder ofrecer una experiencia perfecta al pasajero mediante innovaciones en tecnología. (Ver [41])

El grupo Schiphol trata de aportar y promover activamente la innovación en todos los ámbitos del aeropuerto mejorables en rendimiento y sostenibilidad. Sin embargo, es importante remarcar que el grupo gestor no es el que desarrolla las tecnologías en el ámbito técnico, sino que es el que las idea, promueve y perfecciona. La parte de carácter técnico suele ser desarrollada por entidades especializadas en el sector que colaboran activamente. Estas tecnologías que contribuyen a la digitalización tratan de mejorar principalmente la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos en el ámbito aeroportuario dividido entre el lado aire y el lado tierra.

#### 2.1.1.1. *Lado aire*

Como se ha mencionado previamente, el grupo operador del aeropuerto de Ámsterdam tiene unas bases sólidas de concienciación sobre la importancia del medio ambiente. Por consiguiente, se pretende hacer un aeropuerto completamente sostenible y todavía más inteligente. Para lograrlo, se necesita reducir considerablemente las emisiones de gases contaminantes provenientes, principalmente de los aeromotores (turbofans y turboprops) de las aeronaves y los equipos de asistencia a la aeronave en tierra (GSE, del inglés “*Ground Support Equipment*”). Una manera de contribuir a ello es hacer que todos estos equipos y procesos asociados a la zona de operaciones sean sostenibles y autónomos. Para lograr este objetivo, se ha lanzado un programa llamado Operaciones Autónomas en el Lado Aire. Se prevé el 2050 como año de finalización de este proyecto donde todos los vehículos se reemplazarán por una flota interconectada de vehículos propulsados de forma autónoma y eléctrica. De esta forma todos los vehículos de GSE propios del aeropuerto serán libres de emisiones y automatizados bajo la supervisión de operarios. (Ver [40]) Esto incluye *pushbacks* controlados por el piloto (TaxiBot), pasarelas de pasajeros automatizadas y tractores portaequipajes autónomos. Además de otras tecnologías que facilitaran tareas a los operarios que trabajan en la plataforma como la inspección de los estacionamientos de aeronaves mediante laser e inteligencia artificial.

*En Anexo B. Ampliación sobre gases contaminantes más frecuentes en los aeropuertos.*

Para realizar el análisis de este apartado, se ha contado con la contribución de Simon Prent, el cual ha sido un trabajador del Royal Group Schiphol. El señor Prent ocupaba el cargo de Project Leader del proyecto “Sustainable Taxiing” y formaba parte del equipo de innovación en el proyecto “Autonomous Airside Operations”.

*En Anexo C. La entrevista-resumen con Simon Prent.*

## TaxiBot

El TaxiBot es uno de los desarrollos apoyados por el grupo Schiphol en su meta hacia un aeropuerto completamente sostenible. Las características de asistencia a la aeronave de un TaxiBot son similares a las de un pushback, con la diferencia de su actuación como un sistema de propulsión externo para remolcar aeronaves que permite el rodaje inmediato después del pushback. De esta forma, el rodaje se puede realizar con los aeromotores de la aeronave apagado. De todas formas, estos deberán encenderse ligeramente antes del despegue para el periodo de calentamiento. La principal novedad del sistema TaxiBot es la capacidad de control que se le proporciona al piloto para rodar la aeronave en la pista con los motores apagados. Este control se realiza mediante el uso del timón y de los pedales de freno de la aeronave. Esta tecnología TaxiBot permite a la aeronave rodar a 23 nudos (casi 43 km/h), muy similar a la velocidad de rodaje de las aeronaves en condiciones normales. Es importante destacar que el funcionamiento del TaxiBot siempre es supervisado por un operario que se sitúa en el interior del remolcador, que a su vez es el que lleva a cabo las maniobras de pushback. (Ver [42])



**Figura 2.2.** TaxiBot remolcando un Boeing 737 de Transavia. (Ver [43])

La tecnología TaxiBot ha sido diseñada para poder ser empleada en la mayoría de aeronaves comerciales que se encuentran en los aeropuertos civiles comunes. Por lo que existen dos tipos de TaxiBots en función del tipo de aeronave diferenciado entre narrow body (NB) y wide body (WB). Los primeros están pensados para aeronaves de la familia A320, B737 y B757. Sin embargo, los WB TaxiBots están diseñados para remolcar aeronaves tipo A330, A340, A350, A380, B747 y B767. (Ver [42])

La principal relevancia del TaxiBot consiste en la posibilidad de evitar emisiones provocadas por los aeromotores de las aeronaves mientras éstas circulan por las calles de rodaje. Lo que convierte esta tecnología en la única certificada para realizar un rodaje sostenible. Concretamente, este equipamiento permite reducir entre un 50% y un 65% las emisiones y el gasto en combustible de la aeronave en comparación a un pushback estándar. En su mismo tiempo los niveles de ruido también se ven significativamente reducidos, así como las posibilidades de FOD (del inglés "Foreign Object Damage/Debris")

que también disminuyen un 50%. (Ver [44]) Otros de los beneficios y ventajas que proporciona TaxiBot son las siguientes: (Ver [45])

- Mejora en la seguridad y el proceso de remolque en el pushback.
- No se precisa de ninguna modificación en los sistemas de la aeronave ni en la infraestructura aeroportuaria, sino que se adapta a los ya existentes.
- Incrementa la tracción y se mejora el agarre en superficies mojadas o heladas.
- Protege en todo momento el tren de aterrizaje delantero de exceder la carga de fatiga máxima permitida. Además, no se ve afectada su vida útil más allá del desgaste normal. Esto sucede gracias a que el piloto utiliza los propios frenos de la aeronave para frenar el convoy completo.

Como ya se ha mencionado, el grupo Schiphol pretende automatizar todos los vehículos del lado aire. Sin embargo, el TaxiBot no está automatizado ya que puede operarlo el piloto y el conductor. No obstante, muchos de los problemas que se presentaron a raíz de las pruebas, se podían solucionar proporcionando un sistema autónomo al TaxiBot. Por lo que se realizó un estudio para implementar un TaxiBot completamente autónomo que finalmente, no se desarrolló. El sistema fue inspirado en los contenedores automatizados del puerto de Rotterdam que siguen una línea en el suelo y cuentan con un radar para la detección de obstáculos. La idea principal aplicada en el TaxiBot consistía en un radar y una cámara en dos lados como sistema de detección de obstáculos y barreras. Para que en caso de obstáculo el vehículo se parase y el conductor a bordo del TaxiBot tomase una decisión en cómo proceder. La gran problemática del automatismo viene en la complejidad de acelerar, frenar y virar por sí mismo en el momento de remolcar una aeronave. La carga de fatiga que soportaría el tren de aterrizaje delantero al frenar y acelerar sería suficiente para terminar rompiéndose. Otro punto de vista interesante y a la vez desafiante, es la responsabilidad de un accidente potencial con TaxiBot implicado. Es decir, en caso de accidente con una aeronave, no queda determinado directamente el responsable del accidente.

Como contraposición a lo dicho, la plena aplicación del TaxiBot en el aeropuerto de Ámsterdam disminuye la capacidad del aeropuerto en un 50%. Sin embargo, en este estudio de autonomía en el TaxiBot también se comprobó la capacidad del aeropuerto y los resultados fueron diferentes. La capacidad del sistema de las calles de rodaje dejaba de estar limitada por la capacidad de los controladores de tierra y pasaba a depender de un ordenador con capacidad para guiar gran cantidad de aeronaves en tierra mediante los TaxiBots autónomos. Al utilizar este nuevo sistema con una capacidad más grande en las calles de rodaje, se desharía el cuello de botella que se produce en este entorno. Este cuello de botella del que se habla es muy recurrente en este aeropuerto y consiste en largos atrasos provocados por aeronaves situadas las puertas de embarque que esperan largos tiempos a que el sistema de carriles de rodajes esté disponible. Sin embargo, en este ámbito también se surgieron otros factores a tener en cuenta, por ejemplo, la distancia de las alas entre aeronaves. Por lo que se terminó por considerar inviable el automatismo en los TaxiBots.

## Vehículos autónomos en lado aire

Ya se ha comentado antes sobre la existencia del proyecto llamado “Operaciones Autónomas en el Lado Aire” que está llevando a cabo el Royal Schiphol Group y que quiere consolidar en 2050. En este ambicioso proyecto se pretende adoptar un aeropuerto autónomo, es decir, se pretende implementar autonomía y sostenibilidad en los vehículos terrestres que circulan por el lado aire. Aunque actualmente pueda sonar algo difícil de imaginar, ya se está empezando a llevar a cabo algunas tecnologías que están aún en proceso de desarrollo o prueba. Algunas de estas son los tractores porta-equipajes autónomos y las pasarelas de acceso a las aeronaves autónomas.

Los tractores porta-equipajes con funcionamiento autónomo (TractEasy) dan paso al objetivo del grupo gestor de reemplazar todos los vehículos en el lado aire por una flota interconectada de vehículos autónomos y libres de emisiones. Los beneficios que este tipo de vehículo autónomo proporciona al sector del *handling* se basan en una reducción de costes, incremento en la productividad y un gran nivel de seguridad. Algo muy positivo de esta nueva tecnología es el uso de sus componentes electrónicos para recoger y almacenar información del entorno. Esto favorece el hecho de que no se requiera ningún cambio en la infraestructura aeroportuaria.

Estos vehículos autónomos han sido fabricados por la empresa proveedora de equipos GSE, TLD, junto con la entidad EasyMile, encargada de suministrar el software apropiado. (Ver [46])



**Figura 2.3.** TractEasy en funcionamiento. (Ver [47])

En relación a las especificaciones, este vehículo tiene una fuerza de estirada de 20kN y es capaz de circular a 15 km/h. Como ya se ha dicho, se ha pretendido dotar a este vehículo de autonomía, por lo que tiene dos modos: uno manual (funcionamiento muy similar al tractor porta-equipajes JET-16) y otro sin conductor. (Ver [48])

El sistema está compuesto por una cabeza tractora, un sistema de navegación y el software que determina las rutas teniendo en cuenta aspectos de seguridad. La sección tractora esta desarrollada a partir de otro modelo de la

misma TLD, este es el JET-16. (Ver [49]) Sin embargo, en lo que respecta a la navegación, localización y percepción de obstáculos, TractEasy depende de múltiples sensores y componentes que permiten reconocer y moverse por el entorno. Algunos de estos sensores y componentes electrónicos son LIDARs, radares, IMU (del inglés, "*Inertial Measurement Unit*"), GPS, módems 3G/4G, codificadores de ruedas, unidades a bordo V2X y cámaras estéreo. Estos permiten determinar la localización del vehículo con una tolerancia de al menos 5 cm y reconocer que obstáculos hay alrededor del vehículo para adaptar su comportamiento en consecuencia. Concretamente, la tecnología V2X permite conocer la dirección del vehículo en una ruta predefinida mediante el recibimiento e interacción de información del centro de supervisión y de su entorno. (Ver [47])

Las pasarelas de acceso a la aeronave autónomas son otra de las creaciones que el grupo Schiphol ha impulsado. Esta vez junto con las empresas CIMC-TianaDa y SIOUX-CCM, que han sido pioneros en esta tecnología, de momento, única en el mundo. La primera compañía, de origen china, proveedora de las pasarelas y la segunda compañía, de origen neerlandesa, encargada de aportar la alta tecnología optomecatrónica necesaria. Este nuevo tipo de pasarelas están dotadas de cámaras inteligentes capaces de reconocer la puerta de la aeronave. Adicionalmente, mediante sensores incorporados, la pasarela se mueve automáticamente hacia la puerta de acceso a la aeronave. La idea de estas pasarelas autónomas surge de la necesidad de poner remedio a las consecuencias de un funcionamiento defectuoso de estas, cosa que provoca un gran aumento en el tiempo y el coste de pasajeros y aerolíneas. Mediante la incorporación de esta tecnología, se permite suprimir el uso del joystick manipulado por un operador y acortar el tiempo de acople de la pasarela al avión siendo este de un solo minuto. Cosa que propicia una mejora en el nivel de calidad de servicio (Ver [50])

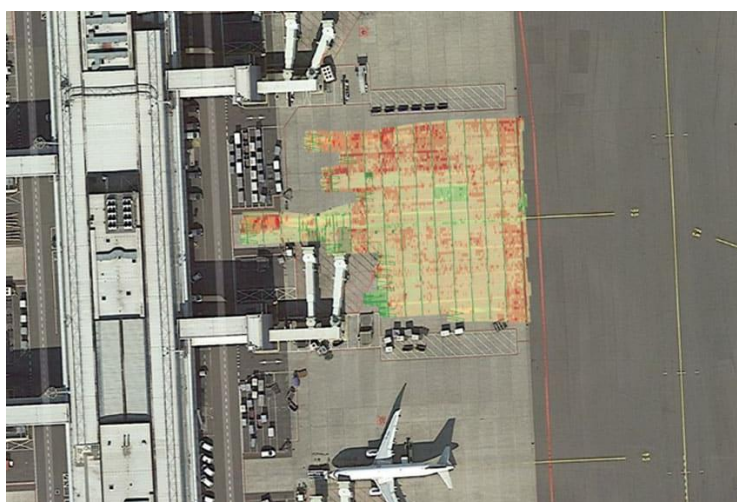
El centro tecnológico se concentra en el ADAM (del inglés, "*Automated Docking Add-on Module*"), que consiste en un sistema avanzado encargado del reconocimiento de las puertas, independientemente del color, letras, tamaño, diseño, etc. Además, el sistema funciona sin problemas sin importar el posicionamiento, la hora del día, o las condiciones climatológicas adversas que pueda haber. Esto se consigue mediante la implementación de dos cámaras que proporcionan una buena visión en profundidad del objetivo. A su mismo tiempo, se ha requirió de la potencia de un ordenador de cálculo para proporcionar fiabilidad en la velocidad de análisis de datos 3D. Para ello, se da uso del algoritmo Smart Vision, que se alimentó con más de 1000 imágenes para hacer aprender al sistema la localización de las puertas. Algunos de los desafíos clave con el que los desarrolladores tuvieron que lidiar, fue con las condiciones térmicas extremas, las vibraciones y los vapores de queroseno. Estos inconvenientes fueron mitigados aportando robustez y control del clima (ver [51]), puesto que el sistema ADAM operativo soporta temperaturas ambientales entre -20°C y 70°C. (Ver [52])

### Uso de la inteligencia artificial en los estacionamientos para aeronaves

La inteligencia artificial puede tener múltiples aplicaciones en múltiples entornos para facilitar y agilizar tareas y procesos. Por consiguiente, el gestor

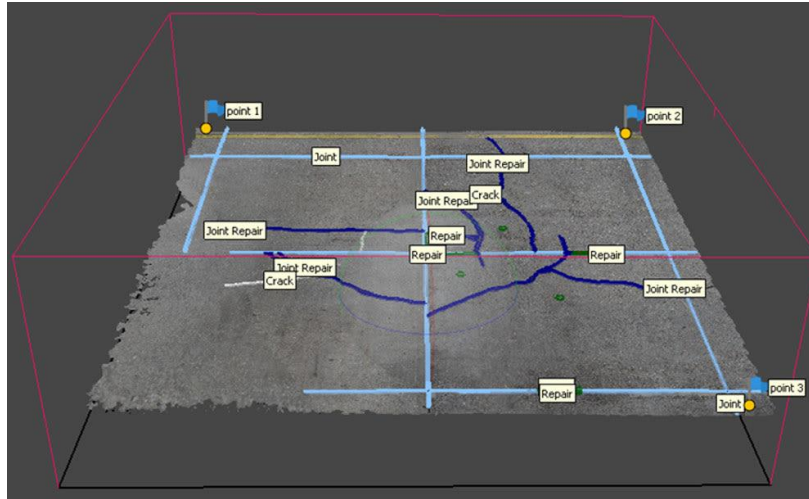
aeroportuario Royal Schiphol Group, junto con Mavisoft, SWIC y VolkerInfra, ha sabido sacar provecho de ello en relación a las tareas de mantenimiento e inspección del asfalto en los aparcamientos de las aeronaves. (Ver [53]) La plataforma de un aeropuerto ha sido pensada para soportar grandes cargas, proteger la explanada de las condiciones climatológicas y proporcionar seguridad y comodidad semipermanente. A pesar de ello, se producen deformaciones plásticas (roderas) y fatiga que deben ser revisadas e inspeccionadas periódicamente. (Ver [54]) Mediante estas inspecciones, se indica el índice PCI (del inglés "*Pavement Condition Index*") y en función de este, se determina si el pavimento en cuestión, puede ser usado o no con seguridad.

El principal objetivo de este sistema consiste en alargar el tiempo de vida útil del asfalto del pavimento, que, como consecuencia, contribuirá a minimizar costes, obstáculos materiales y emisiones. A su vez, permite realizar inspecciones de grandes superficies de día y de noche, rápidamente y de forma digital y automatizada. Otra de las ventajas que trae consigo la aplicación de esta tecnología es la capacidad de realizar una inspección PCI. Gracias a eso se elimina la necesidad de una inspección de mantenimiento manual y se limita la investigación y las tareas de mantenimiento en torno a las medidas que la IA ha detectado. (Ver [53])



**Figura 2.4.** Vista desde arriba mediante IA a un estacionamiento de aeronaves. (Ver [53])

Cabe mencionar que las pruebas de esta tecnología se realizaron, recientemente, en el año 2022. En estas pruebas se testaron diferentes combinaciones de técnicas de detección de daño y clasificación basadas en IA y en un sistema láser llamado LCMS-2 (del inglés, "*Laser Crack Measurement System 2*"). En estas pruebas se pudo comprobar que el sistema funcionaba de con mayor claridad y efectividad con el algoritmo de detección de daños. El modo de captura de las imágenes se basa en cámaras regulares o en drones/RPAS (del inglés, "*Remotely Piloted Aircraft System*") o en vehículos para inspección. (Ver [53])

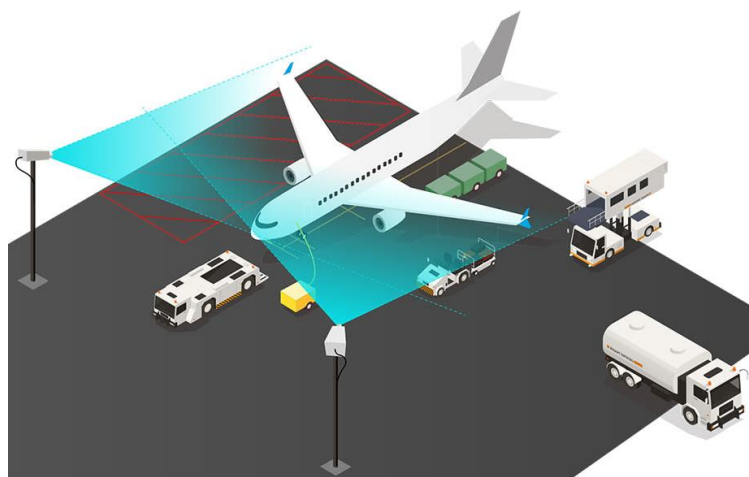


**Figura 2.5.** Software basado en algoritmos de detección de daños muestra las reparaciones necesarias. (Ver [53])

Otra de las finalidades de la inteligencia artificial en los estacionamientos de las aeronaves es agilizar el tiempo de respuesta y aportar predictibilidad a la asistencia de aeronave en tierra. Este proceso se lleva a cabo mediante cámaras que capturan instantáneas que se traducen en datos. (Ver [55])

La asistencia de la aeronave en tierra se inicia en los instantes de la llegada de la aeronave a la puerta de embarque y se finaliza en el momento que ésta abandona. En este periodo de tiempo, los equipos de *handling* deben de proceder a asistir la aeronave en diversas tareas. Algunas de estas tareas consisten en el desembarque y embarque de pasajeros, reabastecimiento de combustible a la aeronave, limpieza del interior, descarga y carga del equipaje, reabastecimiento de catering, etc. Por lo que cumplir con el tiempo establecido para realizar este proceso es muy importante ya que, por el contrario, provocaría un retraso en el vuelo.

De esta forma, mediante el uso de los datos que se obtienen de este sistema, se crea la posibilidad de predecir, actuar en consecuencia para prevenir retrasos y obtener conocimiento para la optimización del proceso. (Ver [55])



**Figura 2.6.** Representación de la captura de instantáneas de los equipos GSE asistiendo a la aeronave. (Ver [55])

El funcionamiento de esta tecnología se basa en IA para dar uso a una visión computacional, es necesaria la instalación de unas cámaras en el estacionamiento de aeronaves capta una serie de instantáneas. Posteriormente, mediante un algoritmo avanzado basado en tecnología de aprendizaje profundo (IA) se convierten las imágenes en datos y reconoce los equipos de GSE. De esta forma, al coordinador se le permite conocer el inicio y el final de los procesos a tiempo real. (Ver [55] y [56])

### Uso de drones para realizar inspecciones y otras tareas

Aprovechando la disminución considerable del tráfico aéreo mundial debido a la pandemia en 2020, se realizaron pruebas de inspección mediante el uso de drones en el aeropuerto de la capital neerlandesa. De esta forma, el uso de drones del aeropuerto, se permitió en una reglamentación temporal con el condicionante que estos vuelos se realizasen en coordinación con la organización de control del tráfico aéreo de los Países Bajos (LVNL, del neerlandés “*Luchtverkeersleiding Nederland*”). La LVNL pretende integrar, en un futuro, las operaciones de aeronaves no tripuladas junto con los aviones tripulados en el espacio aéreo. Es por ello que se tomó aquel momento como la oportunidad de realizar pruebas. La función de estas pruebas consistió en comprobar la funcionalidad, viabilidad y el desempeño de los drones en las tareas de inspección. Por lo que las principales áreas fueron superficies de asfalto. Sin embargo, también se probó la capacidad de llevar a cabo tareas de de-icing o suministrar piezas de aeronaves en su mantenimiento. (Ver [57] y [58])



**Figura 2.7.** Dron de inspección en el aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol. (Ver [57])

#### 2.1.1.2. Lado tierra

Las tecnologías que favorecen la digitalización en el lado tierra de un aeropuerto se implementan pensando, primordialmente, al confort del pasajero. Los aeropuertos pretenden hacer la experiencia del pasajero en la terminal más

agradable facilitando los procedimientos aeroportuarios existentes en una terminal. Es por ello que muchas de las tecnologías implementadas en esta zona del aeropuerto consisten en el “autoservicio de cosas” y en proveer información al pasajero y al aeropuerto. Por lo que el aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol ha apostado por un servicio al pasajero mejor y más ágil mediante la digitalización.

El lado tierra del aeropuerto neerlandés ha sido dotado de algunas tecnologías propias de aeropuertos inteligente que ya se han visto en el primer capítulo de este proyecto. Algunas de ellas son las siguientes: (Ver [13])

- Quiosco de autofacturación.
- Servicio de autoembarque.
- Posicionamiento y navegación en el interior.
- Identificación de reconocimiento biométrico.
- Sistema automatizado de tratamiento de equipajes mediante identificación por etiquetas RFID (ver [59]).
- App del aeropuerto para dispositivos móviles.

Sin embargo, hay otras tecnologías que también contribuyen a que el aeropuerto de Ámsterdam sea un aeropuerto 4.0., estas son las que se explican a continuación.

### Self Service Units

En el aeropuerto de la capital neerlandesa se han desarrollado las denominadas “*Self Service Units*” o unidades de autoservicio. Estas unidades consisten en pantallas con capacidad interactiva destinadas a dar control e información de forma sencilla y rápida a los pasajeros que transitan por la terminal. La interacción con esta unidad se inicia mediante un escaneo de la tarjeta de embarque. De esta forma el pasajero puede conocer toda la información disponible referente a su vuelo, planos de la terminal para buscar restaurantes y tiendas, hacer videollamadas con un empleado del aeropuerto y solicitar un asistente a la ubicación a la propia ubicación.

Actualmente, estas unidades ya están ubicadas en diferentes puntos repartidos en la terminal a modo de proveer tranquilidad y facilidades al pasajero. (Ver [60])

Prestop es la empresa que diseñó y desarrolló esta unidad informativa para Schiphol. Prestop optó por implementar un quiosco de acero cubierto con HI-MACS. En relación al hardware del punto de información también incorporó una pantalla táctil PCAP de 32”, un escáner de código de barras, un micrófono, una webcam y altavoces. Por otro lado, el software incorporado estaba basado en la página web del grupo Schiphol y se muestra a través de SiteKiosk. (Ver [61])

*En el Anexo D. Introducción a los conceptos de HI-MACS, PCAP y SiteKiosk.*



**Figura 2.8.** Unidad de autoservicio en el aeropuerto de Ámsterdam Schiphol.  
(Ver [61])

### Uso de la tomografía computarizada en los filtros de seguridad

El aeropuerto de la capital neerlandesa ha sido el primer aeropuerto del mundo en tener todos los filtros de seguridad equipados con tecnología de tomografía computarizada (TC). Gracias a los escáneres de TC el personal de seguridad puede revisar el equipaje rotándolo 360 grados mediante imágenes rotatorias, codificadas por colores y en 3D, que son más precisas que las radiografías tradicionales. (Ver [62]) A su vez, los escáneres para los pasajeros permiten crear una imagen digitalizada lo que permite detectar objetos peligrosos portados por el pasajero. (Ver [63]) Por otro lado, una ventaja enfocada hacia la comodidad del pasajero es la no necesidad de tener que extraer del equipaje los dispositivos electrónicos y/o líquidos. (Ver [62])

En relación a la tecnología de tomografía computarizada, esta se diferencia de una radiografía convencional por el uso de un tubo fijo de rayos X. Por lo que el escáner de TC utiliza una fuente motorizada de rayos X que gira alrededor de la abertura circular de una estructura en forma de rosca llamada Gantry. Durante el escaneo por TC, el equipaje se va moviendo a través del Gantry, mientras que el tubo de rayos X gira alrededor a modo que se van disparando. A su vez, los escáneres de TC utilizan detectores digitales especiales de rayos X, localizados directamente frente a la fuente. Cuando los rayos X salen del equipaje, son captados por los detectores y transmitidos a una computadora. (Ver [64])

### Cálculo de tiempos de espera mediante el análisis de datos

Los tiempos de espera elevados son un hecho en aeropuertos con grandes flujos de pasajeros como es el caso del aeropuerto de Ámsterdam. Esto a menudo genera estrés en los pasajeros durante su jornada de viaje. Por lo que la experiencia del pasajero en la terminal puede verse afectada. Sin embargo, el grupo Schiphol considera que una buena manera de influenciar positivamente en la percepción de la gente acerca del aeropuerto es mostrando los tiempos de espera. (Ver [65]) Para llevarlo a cabo, Schiphol ha contado con la colaboración de Veovo. Esta empresa ha provisto al aeropuerto neerlandés

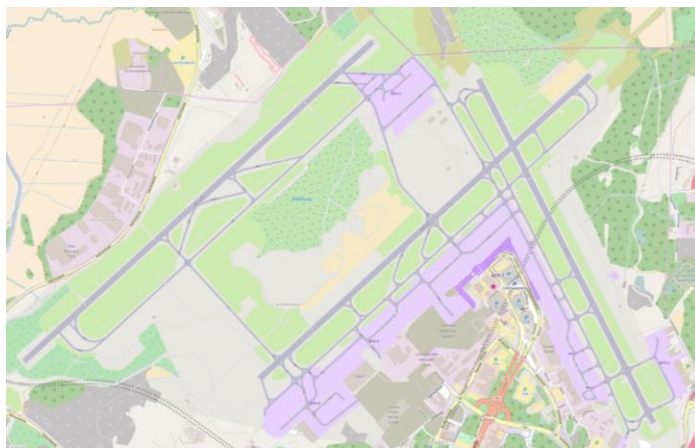
de la solución de previsibilidad BlipTrack. Esta ha contribuido en el entendimiento de los movimientos y tendencias de los pasajeros en la terminal. De esta forma, el aeropuerto puede prever y resolver irregularidades o incrementos de pasajeros en los procesos. BlipTrack de Veovo consiste en una combinación de sensores con un software de procesamiento de análisis de datos (big data). Este sistema es capaz de proveer un tiempo de cola de manera automática. Es importante destacar que toda esta información se muestra en la API (del inglés, “*Advance Passenger Information*”). (Ver [66])

### 2.1.2. Aeropuerto de Helsinki-Vantaa

El aeropuerto de Helsinki se ubica en el municipio de Vantaa, limítrofe de la capital de Finlandia. Este aeropuerto es el más importante del país en cuanto a transporte de pasajeros y uno de los principales aeropuertos europeos. Los datos anteriores a la pandemia, indican que casi 21,9 millones de pasajeros transitaron por este aeropuerto en 2019. No obstante, la capacidad del aeropuerto es de hasta 30 millones de pasajeros. (Ver [67])

En cuanto a la distribución del complejo aeroportuario, esta comprendido en dos terminales diferentes y tres pistas, dos de ellas paralelas. Sin embargo, a mediados de 2022 se decidió cerrar la terminal 1 y traspasar todos los vuelos a una sola terminal. Esta única terminal operativa es la más grande y ocupa una superficie de 200.000 metros cuadrados. La superficie del aeropuerto en su totalidad es de 1800 hectáreas. (Ver [68])

En la figura 2.9, a continuación, se muestra la distribución de las pistas y calles de rodaje junto los edificios terminales.



**Figura 2.9.** Mapa del aeropuerto de Helsinki-Vantaa. (Ver [69])

El grupo que se encarga de la gestión del aeropuerto de Helsinki es Finavia Oyj, del cual es propietario el gobierno de Finlandia en su 100%. Este grupo es responsable de mantener la operatividad de 21 aeropuertos finlandeses.

En relación al enfoque de la digitalización, Finavia da importancia al desarrollo continuo de soluciones digitales para mejorar la eficiencia de sus operaciones clave. Por lo que dedica parte de sus esfuerzos a la elaboración de proyectos y programas dedicados ello. Uno de los desafíos más grandes de Finavia es la

de mantener a los aeropuertos operativos ante cualquier clima. (Ver [70]) Es por ello que este grupo trata de estar siempre buscando nuevas formas de optimizar sus labores. Para ello, existe el Programa de Desarrollo del Aeropuerto de Helsinki. Este tiene por objetivos mejorar la infraestructura de la totalidad del complejo, mejorar las capacidades de varios entornos aeroportuarios y mejorar la experiencia del pasajero en su estancia temporal en el aeropuerto. De esta forma se pretende conseguir un aeropuerto mas accesible y acomodado. (Ver [71])

De la misma forma que se ha hecho en el anterior apartado, se realizará el estudio del nivel de digitalización segregando las tecnologías en función del entorno. Por lo tanto, diferenciamos dos entornos aeroportuarios; el lado aire y el lado tierra.

#### 2.1.2.1. *Lado aire*

En el lado aire de un aeropuerto situado en uno de los países mas al norte de Europa, resulta complejo mantener la pista operativa independientemente de las condiciones meteorológicas, las cuales son bastante extremas en invierno. Temperaturas muy por debajo de 0 grados, grandes cantidades de nieve y hielo y vientos helados son algunos de los factores que dificultan la operatividad de un aeropuerto en Finlandia. Si a esto se le añade una congestión de vuelos elevada, todo resulta en dificultades. Para todo ello Finavia está en constante búsqueda de nuevas fuentes y tecnologías que faciliten la operatividad del aeropuerto. Por lo que sustentan y apoyan cualquier proyecto que se adapte a los intereses de los aeropuertos finlandeses.

#### SnowBot

SnowBot ha sido una de las tecnologías que se han desarrollado con la finalidad de mantener las pistas en perfectas condiciones, libres de nieve y hielo. Este proyecto denominado Runway SnowBot es uno de los proyectos con mayor relevancia en los que Finavia ha sido participativo y que se ha adoptado en este aeropuerto. Con este proyecto ya consolidado, Finavia ha convertido la limpieza de nieve en todo un desarrollo tecnológico innovador. La idea nace de la inspiración de los cortacéspedes y aspiradores automáticos, aplicándose el mismo concepto para crear un nuevo vehículo capaz de moverse de manera autónoma. En este caso, este vehículo se encarga de remover la nieve en las pistas de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de una manera segura, sostenible, económica y cómoda. (Ver [70])



**Figura 2.10.** SnowBot durante las pruebas en el aeropuerto de Ivalo, Finlandia.  
(Ver [72])

Este proyecto se crea a partir de la colaboración de varias empresas finlandesas: Finavia, Valtra, Nokian Tyres, Vammas y Neste. Valtra enmarcó sus tractores T254 para el proyecto Runway SnowBot. Adicionalmente, también se encargó de proveer la seguridad y la eficiencia a sus tractores mediante sistemas de guiado inteligente a los tractores autónomos. Estas funciones de auto guiado se basaron el sistema Valtra SmartTouch. Nokian Tyres, especializados en el diseño de neumáticos para condiciones climatológicas extremas, proporcionaron los neumáticos Nokian Hakkapeliitta TRI. Estos cuentan con el agarre y la precisión necesarios para la operación segura de un tractor no pilotado, sin ocasionar daños en la pista. Vammas es el distribuidor por excelencia de equipos de mantenimiento y de quitanieves, por lo que proporcionó la barredora sopladora. Neste proporcionó un motor basado en un diésel renovable con capacidad de emitir un 90% menos de dióxido de carbono. Además, también desarrolló un sistema de abastecimiento de combustible automatizado por un brazo robótico, cosa que aporta todavía más automatismo al sistema SnowBot. (Ver [73])

### Uso de la IA en la asignación y el control de los puestos de estacionamiento de las aeronaves

Como norma general, en los aeropuertos, el método de asignación de puestos de estacionamiento se realiza en función de los horarios y características de los vuelos. Además, los cálculos de estas asignaciones también suelen estar influenciadas por las preferencias de las aerolíneas y los agentes de handling, la seguridad del aeropuerto y la comodidad de los pasajeros, etc. Si también se tiene en cuenta la complejidad que aporta el clima impredecible del país y otras posibles limitaciones, se convierte en una tarea sobrecargada y densa. Por lo que Finavia trata de desarrollar métodos para facilitar y agilizar las operaciones aeroportuarias. Un ejemplo es el uso de algoritmos matemáticos en la asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves. Estos algoritmos proporcionan sostenibilidad y fluidez en los movimientos de las aeronaves por el lado aire. Esta aplicación de IA para el estacionamiento de aeronaves también decide rutas de las jardineras, asigna mostradores de facturación e incluso permite el aterrizaje a aeronaves. Con los datos introducidos en el

núcleo del sistema, este es capaz de crear un plan estratégico en cuestión de segundos en función de los datos de los vuelos. Mientras que, a su vez, tiene en cuenta las reglamentaciones y preferencias que también han sido previamente establecidas. Este algoritmo no solo ha mejorado la gestión de las diferentes operaciones aeroportuarias, también ha simplificado la manera de monitorear el funcionamiento del aeropuerto. Otro gran beneficio de este sistema es la reducción de gases contaminantes. Esto es debido a la baja probabilidad de que una aeronave tenga que circular por las calles de rodaje hasta que se le asigne un puesto. De esta forma, contribuye al ahorro de combustible y a la sostenibilidad. (Ver [74] y [75]) Además, para dar robustez y soporte al sistema, este está vinculado al AOS (del inglés, “*Airport Operational Status*”), que consiste en un canal de comunicación para compartir información con la comunidad aeroportuaria. De esta forma se puede conocer, en tiempo real, la información de las diferentes operaciones. (Ver [76])

Como ya se ha visto a lo largo del proyecto, el uso de la IA es muy versátil. Por lo que el aeropuerto de Helsinki también ha llevado a cabo pruebas de esta tecnología en el control del *handling* en sus puestos de estacionamiento para aeronaves. La principal finalidad es controlar que se esté realizando correctamente todo el proceso de asistencia en tierra a la aeronave, además de calcular los tiempos. (Ver [77])

#### 2.1.2.2. Lado tierra

Como ya se sabe, el edificio terminal alberga los tramites que deben realizar los pasajeros para tomar un vuelo. Así pues, Finavia ha optado por encaminar estos procesos hacia un entorno digital más efectivo creando un departamento llamado Operaciones de Movilidad Digital de Pasajeros. En el aeropuerto de Helsinki hay muchas de las aplicaciones digitales que se han visto en el primer capítulo de este proyecto, por ejemplo: (ver [13] y [78])

- Quiosco de autofacturación.
- Servicio de autoembarque.
- Posicionamiento y navegación en el interior.
- Identificación de reconocimiento biométrico.
- Sistema automatizado de tratamiento de equipajes mediante identificación por etiquetas RFID (ver [79]).
- Aplicación del aeropuerto para dispositivos móviles.

No obstante, también se han incorporado más tecnologías que hacen del aeropuerto de la capital finlandesa un aeropuerto inteligente. Estas se detallan a continuación.

#### IA en la terminal

Finavia ha realizado pruebas con inteligencia artificial en varias funciones del aeropuerto de Helsinki. El grupo finlandés quiere liderar en el uso de la IA y la digitalización en el entorno aeroportuario para mejorar la comodidad,

confiabilidad y funcionalidad de los procesos. Es por este motivo que ya se han probado los siguientes proyectos: (ver [80])

- Pantallas de grandes dimensiones que muestran información dirigida a los pasajeros en función de los datos basados en la nacionalidad de estos. El objetivo consiste en usar los datos que se tienen sobre los vuelos y pasajeros y enforarlos hacia el público mayoritario del aeropuerto en ese momento. De esta manera se podría cambiar el idioma y usar información de interés relevante. Esto resulta en encontrar los servicios aeroportuarios fácilmente puesto que el pasajero recibe la información que necesita exactamente cuando la necesita.
- ChatBot es un tipo de agente de atención al cliente capaz de reconocer el idioma con el que se le habla. Esta inteligencia artificial es capaz de guiar al pasajero o darle la información que necesita en cualquier momento.

Asimismo, también se ha probado de regular el precio del aparcamiento en función de la demanda con una inteligencia artificial. De esta forma se ayuda al aeropuerto a optimizar el uso de los espacios en la zona de aparcamiento. (Ver [80])

#### Uso de la tomografía computarizada en los filtros de seguridad

Al igual que en el aeropuerto de Ámsterdam se ha incorporado la misma tecnología basada en TC aplicada como método de control de equipajes. Esta tecnología ha sido aplicada recientemente, en 2022, y permite a los pasajeros llevar dispositivos electrónicos y líquidos en su equipaje de mano. (Ver [81] y [82])

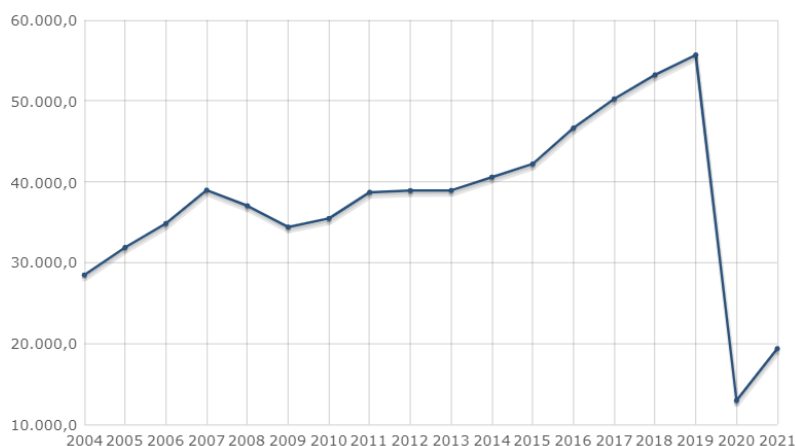
#### Cálculo de tiempos de espera mediante el análisis de datos

En el caso del aeropuerto de Helsinki, se ha incorporado un sistema de visión artificial con una transmisión de video capturada que permite calcular el número de personas pasando por el control de seguridad. Esto ocurre gracias a la tecnología proporcionada por la entidad Xovis. De esta manera, el sistema calcula el tiempo que tardan estas personas en pasar este punto y los controladores de operaciones pueden monitorear continuamente cómo evoluciona el volumen de pasajeros y tomar decisiones en consecuencia. Mediante los datos obtenidos de todo el aeropuerto, Finavia puede implementar sus recursos de manera óptima, mejorando la satisfacción general de los pasajeros y empleados en el aeropuerto. (Ver [74] y [83]) Estos datos son compartidos en el AOS, anteriormente explicado.

## **2.2. Digitalización actual en aeropuertos catalanes**

En la actualidad, Cataluña presenta una demanda de tráfico aéreo elevada y hasta antes de la pandemia por el COVID, tendía a ir en aumento año tras año. En la figura 2.11 se muestra un gráfico donde, efectivamente, se evidencia la pendiente de este crecimiento de pasajeros anuales. Asimismo, de acuerdo

con los datos proporcionados por AENA y Aeroports de Catalunya, Cataluña acogió en 2019 a un flujo de pasajeros del 20,3% del total de España. (Ver [84]) Por lo que la convierte en las zonas con más demanda del país.



**Figura 2.11.** Gráfico de pasajeros en los aeropuertos de Cataluña. (Ver [84])

Cabe destacar, que en este gráfico se han tenido en cuenta los datos de los aeropuertos de Barcelona-El Prat, Girona, Reus y Lleida-Alguaire. Por lo que no se ha tenido en cuenta el aeropuerto de Andorra-La Seu debido su escasa y prematura actividad en la aviación comercial. Tampoco se tiene en cuenta el aeropuerto de Sabadell tras considerarse un aeropuerto de aviación general.

Ante esta demanda creciente, los aeropuertos catalanes con más pasajeros han tenido que empezar a implementar sistemas digitales que faciliten y agilicen los procesos y el tránsito aéreo en los aeropuertos. Es por este motivo que resulta interesante analizar el nivel de digitalización de los aeropuertos de la zona. Adicionalmente, es conveniente conocer los planes de Aena en el campo de la innovación y el desarrollo puesto que es el gestor de la mayoría de aeropuertos en Cataluña. Sin embargo, la gestión y dirección de los aeropuertos de Lleida-Alguaire y Andorra-la Seu corre a cuenta de Aeroports de Catalunya. Esta empresa es de carácter público y por lo tanto es propiedad de la Generalitat de Catalunya.

*En el Anexo E. Datos y proyectos tipo "Aeropuerto 4.0" de Aeroports de Catalunya (Lleida-Alguaire y Andorra-la Seu d'Urgell).*

### 2.2.1. Introducción a los programas de digitalización de Aena

El grupo Aena también es consciente de la importancia de la adopción de nuevas tecnologías en entornos aeroportuarios debido a la repercusión en el futuro y presente desarrollo de los aeropuertos de la empresa. Es por ello que incluyen innovación y digitalización como un planteamiento estratégico y de crecimiento. (Ver [85]) Aena cuenta con la colaboración conjunta de varios grupos gestores de aeropuertos de Europa en materia de nuevas tecnologías. Estas colaboraciones tienen el objetivo final de compartir iniciativas tecnológicas y procesos digitales que mejoren la experiencia de los pasajeros

en su paso por los aeropuertos. De esta manera trabajarán en un concepto denominado “innovación abierta” para identificar soluciones sostenibles y potenciar la transformación digital. (Ver [86])

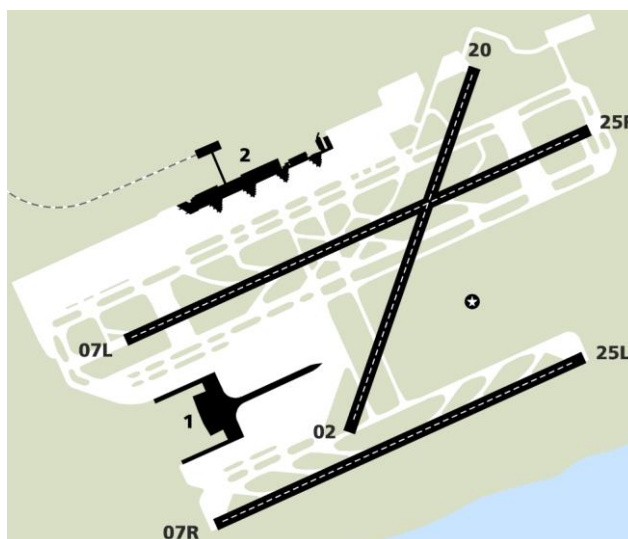
Aena tiene varios programas de innovación en diferentes aeropuertos de España. Estos proyectos están en desarrollo y tienen diferentes objetivos, por lo que los principales son los siguientes (Ver [87]):

- **Plan Estratégico de Innovación:** incluye 80 proyectos a desarrollar en el periodo 2021-2025. Consiste en un plan transversal enfocado a la digitalización hacia el servicio al pasajero con la finalidad de buscar nuevas oportunidades en el entorno del negocio aeroportuario.
- **Sistemas de identidad digital:** implantación de sistemas de identificación biométrica en diferentes procesos aeroportuarios: facturación del equipaje, acceso al filtro de seguridad y acceso al embarque.
- **Aena como operador de drones:** tiene el objetivo probar y validar la empleabilidad de los drones como nueva herramienta de trabajo. Es decir, se pretende analizar las capacidades de los RPAS dentro de las actividades de gestión, operación y mantenimiento de los aeropuertos.
- **AenaVentures:** consiste en un programa de aceleración de Start-Ups con proyectos innovadores comprendida por cinco empresas en las instalaciones del aeropuerto de Barcelona-el Prat. De las cuales dos de ellas dan pie a nuevas tecnologías:
  - *AIRBOT:* es un proyecto de mejora en la asistencia a los pasajeros mediante el uso de IA en un chat.
  - *Carwatt:* pretende realizar un retrofit de los equipos de combustión de *handling* a eléctricos.
- **Proyectos Piloto:** son proyectos realizados mediante acuerdos en colaboración con diferentes empresas tecnológicas. De esta forma se permite atraer innovación externa. En este campo hay dos proyectos:
  - *Movilidad autónoma para PMR (Persona con Movilidad Reducida):* este proyecto proporciona autonomía en la conducción a los pasajeros en silla de ruedas. De esta forma la movilidad por el edificio terminal resulta más confortable y segura.
  - *Análisis de vídeo en plataforma:* mejora en la planificación y la seguridad del entorno de la aeronave mediante técnicas de análisis de video mientras se le proporciona la asistencia en tierra.
- **Horizonte 2020:** participación de Aena en los proyectos del programa de innovación de la Unión Europea. Uno de ellos contribuye a la transformación digital de los aeropuertos.
  - *ASPRID (del inglés, “Airport System From Intruding Drones”):* el objetivo de este proyecto es hacer frente al problema de las intrusiones de drones en espacio aeroportuario y proteger así las operaciones.

Adicionalmente a estos proyectos, Aena dispone de una App propia donde se dispone de información de todos sus aeropuertos y helipuertos.

## 2.2.2. Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-el Prat T1/T2

El aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat gestionado por AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea), es uno de los aeropuertos más importantes a nivel internacional europeo. Concretamente, en 2019 alcanzó el sexto puesto en el ranking de aeropuertos más transitados de Europa con casi 52,7 millones de pasajeros. Asimismo, también es el segundo aeropuerto nacional más transitado por detrás de Madrid-Barajas. (Ver [88]) El aeropuerto de la capital catalana cuenta con una terminal corporativa y dos terminales principales, la T1 y la T2. En la terminal 1 se ubica también el puente aéreo con Madrid y la terminal 2 viene dividida en T2A, T2B y T2C. Sin embargo, la zona de salidas de la T2A permanece inoperativa temporalmente en la actualidad. Respecto el lado aire del aeropuerto, este cuenta con tres pistas operativas de las cuales dos de ellas son paralelas. El emplazamiento del aeropuerto es próximo a la desembocadura del río Llobregat con el mar Mediterráneo y tiene una superficie total de aproximadamente 1300 hectáreas. (Ver [89])



**Figura 2.12.** Mapa del aeropuerto de Barcelona-El Prat. (Ver [90])

Debido a que la gestión y dirección del aeropuerto es responsabilidad de Aena, algunas de las medidas de digitalización que se han mencionado en el punto 2.2.1. se aplican en este aeropuerto. En el complejo aeroportuario de la capital catalana, también se va a diferenciar la digitalización en función del entorno. Por un lado, se sitúan las tecnologías digitales enfocadas en mejorar los procesos y servicios en el lado tierra. Mientras que, por el otro lado, se ubican los sistemas que pretenden minimizar el impacto ambiental, proporcionar seguridad y gestionar el transporte aéreo en el lado aire.

### 2.2.2.1. Lado aire

De acuerdo con los informes de Gestión Consolidado más recientes, elaborados por Aena, no se ha reportado de forma pública, la implementación o

algún proyecto en desarrollo de tecnologías que fomenten la digitalización en el lado aire del aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-el Prat. (Ver [91])

La única implementación tecnológica que se está introduciendo es la modernización de los motores de algunos de los vehículos de *handling*. Esto ocurre gracias al programa de Aena de aceleración de empresas de nueva creación, AenaVentures. Donde la empresa Carwatt opta por la transformación de los motores de combustión a eléctricos. De esta forma se reduce la emisión de gases contaminantes en el lado aire y se contribuye al objetivo de sostenibilidad del aeropuerto. (Ver [87])

#### 2.2.2.2. Lado tierra

El proceso de transformación digital esta más desarrollado en el lado tierra del aeropuerto. Por lo que se puede decir que en el aeropuerto de Barcelona han enfocado la innovación tecnológica en mejorar la experiencia del pasajero en la terminal. Sin embargo, las tecnologías que se han implementado también agilizan los trámites aeroportuarios.

Los quioscos de autofacturación, los sistemas biométricos y el posicionamiento y navegación en el interior de la terminal son las adopciones de tecnologías de nueva generación en el aeropuerto. (Ver [92])

Los sistemas biométricos fueron implementados en unas pruebas en junio de 2021. En estas pruebas ofrecieron a los pasajeros del aeropuerto de Barcelona la posibilidad de participar. De esta manera los pasajeros que aceptaron tuvieron que enrolarse desde casa, App de Aena o de la aerolínea o en los mostradores o quioscos de facturación. De ese modo, los pasajeros pudieron disfrutar de una experiencia biométrica completa pudiendo realizar todos los tramites sin mostrar la tarjeta de embarque ni el documento de identidad. Es decir, pudieron facturar el equipaje, pasar los puntos de control, entrar a salas VIP y acceder a la puerta de embarque de manera autónoma mediante reconocimiento facial. (Ver [92]) Este proyecto está vinculado al Plan Estratégico de Innovación de Aena en colaboración con Vueling y varias empresas tecnológicas como Indra, Materna IPS, Easier, IDEMIA y Mobbeel. Estas empresas han proporcionado la parte técnica del proyecto, concretamente Indra se encargó de la plataforma que permite integrar el equipamiento en los sistemas. Materna IPS desarrolló el sistema biométrico de autofacturación de equipajes. Easier integró los dispositivos biométricos y su middleware (quiosco de autoservicio, puertas electrónicas) para el registro y comprobación. IDEMIA proporcionó la captura de las imágenes faciales con calidad alta y Mobbeel desarrolló la aplicación móvil que permitió a los viajeros registrar su biometría y verificar su identidad. (Ver [93])



**Figura 2.13.** Quiosco de registro de identificación biométrica por reconocimiento facial en el aeropuerto de Barcelona-el Prat. (Ver [94])

También se ha incorporado una plataforma de guiado para el interior de la terminal a través de la App de Aena, Aena Maps. Este proyecto fue uno de los 80 que forman parte del Plan Estratégico de Innovación. Esta función en la App permite al pasajero conocer su ubicación, buscar diferentes puntos de interés y calcular las mejores rutas, distancias y/o tiempos. A su vez, esta herramienta proporciona servicio a pasajeros PMR a modo de satisfacer las necesidades de accesibilidad y otras informaciones destacadas. (Ver [92]) En relación al desarrollo de esta funcionalidad, Aena ha contado con la colaboración de empresas como Telefónica, CARTO DB y Situm Indoor Positioning. Las dos últimas, especializadas en plataformas de inteligencia de ubicación y localización y navegación en interiores. (Ver [95])

El Sistema Automatizado de Tratamiento de Equipajes (SATE) fue una de las grandes novedades en el momento de la inauguración de la terminal 1 en junio de 2009. El funcionamiento de este sistema se ha explicado en el punto 1.2.3. donde se habla del tipo tecnología que se emplea para la identificación de los equipajes. Sin embargo, se puede definir brevemente este sistema como un mecanismo que facilita el traslado, la clasificación y la entrega del equipaje de forma automatizada. El sistema que se implantó en Barcelona cuenta con 24,4 kilómetros de cintas transportadoras, 2 almacenes automáticos, 4 clasificadores, 6629 motores, 4000 bandejas portaequipajes y 4 montacargas para equipajes especiales. De esta forma se puede llegar a procesar 8000 equipajes por hora. A pesar de la baja probabilidad de extravío de equipajes por parte del sistema, este está continuamente monitorizado por 200 cámaras, por lo que desde el centro del control se muestran las imágenes y se detectan posibles averías. (Ver [96])



**Figura 2.14.** Distribución de cintas transportadoras del SATE del aeropuerto de Barcelona-el Prat. (Ver [96])

### **2.2.3. Aeropuertos de Girona-Costa Brava y Reus**

Los aeropuertos de Girona y Reus son el segundo y tercer aeropuerto más transitados de Cataluña. El aeropuerto de Girona consiguió tener una ocupación de 1,93 millones de pasajeros en 2019, mientras que el aeropuerto de Reus gestionó 1,05 millones de pasajeros en el mismo año. (Ver [88])

El complejo aeroportuario de ambos aeropuertos cuenta con una pista y un edificio terminal. En el caso del aeropuerto de Girona, la superficie completa es de 215 hectáreas (ver [97]) y en el caso del aeropuerto de Reus, la superficie es de 321 hectáreas (ver [98]). A pesar del papel más secundario que tienen estos aeropuertos en la lista de aeropuertos españoles de Aena, estos contribuyen al tráfico aéreo de manera significativa estacionalmente. Es decir, la cantidad de pasajeros aumenta considerablemente en el periodo estivo. Por lo que se trata de aeropuertos con actividad comercial puramente estacional en Reus y mayoritariamente estacional en Girona. Sin embargo, a continuación, se muestra como está manejando Aena la transformación digital en estos dos aeropuertos.

#### **2.2.3.1. Aeropuerto de Girona-Costa Brava**

En 2019, tuvo lugar un simulacro de accidente aéreo en el aeropuerto de Girona donde se empleó el uso de drones. Este simulacro formaba parte del Plan de Autoprotección del Aeropuerto de la Costa Brava. En él, se contemplaron los drones, en este caso policiales, para la gestión de la emergencia simulada. Para ello, ENAIRE y Mossos d'Esquadra tuvieron que coordinarse para operar en la zona aeroportuaria supuestamente afectada. El plan de acción de estos drones consistió en captar imágenes del accidente y lanzar una bengala para facilitar la localización del accidente a los controladores. (Ver [99])

Más allá del empleo de drones en el aeropuerto, no se tiene constancia de más medidas de digitalización aplicadas en el aeropuerto de Girona. (Ver [91])

### 2.2.3.2. Aeropuerto de Reus

El aeropuerto de Reus es un aeropuerto con una actividad nula de aviación comercial en los meses de otoño, e invierno. Sin embargo, en los meses de verano, principalmente, las aerolíneas Ryanair y Jet2 incorporan varios vuelos. Por lo que, de acuerdo con los informes de Gestión Consolidado de Aena más recientes, no se ha compartido públicamente ningún proyecto en desarrollo ni ninguna tecnología que se haya adoptado con la intención de digitalizar el aeropuerto. (Ver [91])

## 2.3. Comparación de la digitalización entre aeropuertos

A lo largo del proyecto, se han ido viendo diferentes tecnologías aplicadas en aeropuertos con distintos grados de transformación digital. De esta manera se puede comparar y extraer conclusiones acerca del análisis que se ha realizado. Esta tabla pretende resumir de forma esquemática el trabajo realizado hasta este punto relacionando las aplicaciones y sus aeropuertos.

Las tecnologías que contribuyen a la digitalización y al desarrollo de un aeropuerto inteligente son las que se han seleccionado en la columna a la izquierda de la tabla. En el lado tierra se enmarcan las aplicaciones mas comunes que definen, comúnmente, un aeropuerto inteligente. Por otro lado, en el lado aire se destaca el uso variado de los vehículos autónomos eléctricos, de los drones y de la inteligencia artificial.

En la esta tabla se marca con un “tick” verde las tecnologías que han sido desarrolladas y adoptadas como parte de la infraestructura aeroportuaria. Algunas de ellas han sido implementadas y probadas por pasajeros temporalmente durante un periodo de prueba, por lo que también se enmarcan en el “tick” verde. Por otro lado, el guion representa las tecnologías de nueva generación que no se han realizado en la actualidad.

<b>Aeropuertos</b>	<b>Ámsterdam-Schiphol</b>	<b>Helsinki-Vantaa</b>	<b>Barcelona-el Prat</b>	<b>Girona-Costa Brava</b>	<b>Reus</b>
<b>Tecnologías aplicadas</b>					
<b>Lado tierra</b>					
Quioscos de autofacturación	✓	✓	✓	-	-
Identificación biométrica	✓	✓	✓	-	-

Navegación y posicionamiento interior	✓	✓	✓	-	-
SATE con identificación por etiquetas RFID	✓	✓	✓	-	-
Autoembarque	✓	✓	✓	-	-
App del aeropuerto para dispositivos móviles	✓	✓	✓	✓	✓
TC en el filtro de seguridad	✓	✓	-	-	-
Seguimiento de pasajeros	✓	✓	-*	-	-
<b>Lado aire</b>					
Vehículos autónomos motorizados eléctricamente	✓	✓	-	-	-
Uso de drones	✓	-	-	✓	-
Uso de IA	✓	✓	-	-	-

**Tabla 2.1.** Comparación de tecnologías que contribuyen a la formación de un aeropuerto inteligente.

Tal y como se puede ver en la tabla, el aeropuerto de Ámsterdam Schiphol es el aeropuerto 4.0. europeo de referencia que está a la vanguardia de las tecnologías de nueva generación. El grupo gestor de este aeropuerto está muy centrado en mejorar la operatividad del aeropuerto y la comodidad del

pasajero. Por lo que los diferentes equipos encargados de llevar a cabo la digitalización al aeropuerto están siempre activos en nuevos proyectos de desarrollo. Asimismo, el grupo Schiphol se encuentra en medio de su plan para 2050 donde pretende introducir un nuevo concepto de aeropuerto inteligente dotando a este de autonomía completa en su operatividad en el lado aire. Muy de cerca le sigue el aeropuerto de Helsinki-Vantaa, el cual poco a poco ha ido introduciendo tecnologías digitalizadoras en todo el complejo aeroportuario. Finavia, la gestora aeroportuaria nacional, está enfocando su estrategia en la centralización del aeropuerto en una sola terminal y aplicando todas sus ideas de desarrollo en esta. El objetivo de Finavia es hacer crecer a su aeropuerto de la capital hasta sus máximos números de capacidad mediante nuevas ideas y medidas. Ideas no solo de ampliación con nuevas construcciones, sino de mejora en el funcionamiento del aeropuerto mediante una transformación digital que aumenta considerablemente. Por otro lado, en el plano de aeropuertos presentes en la región catalana, Aena pone en funcionamiento las medidas de digitalización comúnmente aplicadas por los aeropuertos más digitalizados. Sin embargo, estas nuevas tecnologías digitalizadoras no se aplican en aeropuertos de carácter regional como es el caso de Girona-Costa Brava o Reus, sino que se aplican en aeropuertos más grandes con más congestión de pasajeros en sus terminales como es el aeropuerto de Barcelona. Algo importante a destacar, que la misma gestora Aena confirma en sus informes anuales, es el enfoque de la transformación digital mayoritariamente en el lado tierra de los aeropuertos. Todo ello queda reflejado en la columna correspondiente al aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-el Prat.

\* Como observación, es importante recalcar que en el aeropuerto de Barcelona-el Prat no consta de ninguna tecnología de seguimiento de pasajeros según los informes de Aena. No obstante, en la zona del principal control de seguridad de la T1, hay una pantalla de grandes dimensiones con el tiempo de espera de la fila para acceder al filtro de seguridad. Adicionalmente, mediante una inspección ocular de la zona, no se observaron indicios de sensores necesarios para la obtención de datos relacionados con el seguimiento de pasajeros.

## CAPÍTULO 3. PROPUESTAS DE TECNOLOGIAS EN LOS AEROPUERTOS

Una vez adquirido todo el conocimiento sobre la digitalización en los aeropuertos y las tendencias que siguen estos en su transformación digital, se exponen tres propuestas que se consideran ventajosas en la operatividad o funcionamiento de los aeropuertos analizados. La primera propuesta consiste en el desarrollo de un sistema no existente basado en tecnologías de nueva generación propias de los aeropuertos inteligentes. Por el contrario, las otras dos propuestas consisten en implementaciones existentes de nuevas tecnologías digitales que se consideran un avance significativo en el funcionamiento de cualquier aeropuerto con una capacidad media y alta. En esta parte del proyecto, se argumentan los motivos por el cual se proponen estas tecnologías, el funcionamiento, las especificaciones técnicas y las mejoras potenciales que se darían.

### 3.1. Sistema de vigilancia y dispersión de fauna y drones recreativos mediante cetrería robótica y LiDAR en el aeropuerto Barcelona-el Prat

El aeropuerto de Barcelona-el Prat está situado en el parque natural del delta del río Llobregat, colindante al espacio natural protegido del Delta del Llobregat. Por lo que la presencia de fauna en las inmediaciones del aeropuerto es muy abundante al encontrarse en una zona de descanso y alimentación especialmente para aves. El ánade azulón, la avefría europea, el cernícalo vulgar, el cormorán grande, la gaviota patiamarilla, la gaviota reidora y la paloma torcaz son algunos de los ejemplares de aves más frecuentes en esa zona. Esto provoca que las incursiones en el lado aire del aeropuerto sean bastante frecuentes. Es por ello que la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) ofrece información acerca de las especies animales con potencial afección a las operaciones aeronáuticas. Asimismo, también sus movimientos habituales o desplazamientos, los focos de atracción de fauna y las medidas que se aplican en el interior y exterior del aeropuerto de Barcelona. (Ver [100])

- Exterior: acciones de vigilancia, de gestión del hábitat y de captura en coordinación con las autoridades competentes.
- Interior: acciones dispersivas, de exclusión, de captura y de gestión del hábitat en las zonas vegetales o canales de agua en el campo de vuelo.

Una de estas acciones dispersivas y de vigilancia en el interior del campo de vuelo del aeropuerto se basa en el empleo del servicio de cetrería. En esta práctica, se emplean halcones que se encargan de vigilar y proteger al aeropuerto de la presencia de aves que podrían chocar e incluso ser engullidas por los aeromotores de una aeronave. Por lo que el vuelo del halcón no es plenamente controlado al tratarse de otro animal que se mueve libremente por el campo de vuelo y también existe riesgo de engullimiento. Además, este

servicio se inicia desde el amanecer hasta la puesta del Sol, por lo que en horarios nocturnos no está operativo. (Ver [101])

Otro problema recurrente en los aeropuertos de la actualidad, es la incursión de drones civiles en el espacio aéreo aeroportuario. Que de igual modo que las aves son un riesgo para los aviones. La gran mayoría de estas incursiones por parte de drones civiles, no tienen una finalidad negativa o destructiva hacia el tráfico aéreo del aeropuerto. La incursión de este tipo de drones recreativos sucede por negligencias e irresponsabilidades por parte de las personas que los controlan.

Por lo tanto, con la finalidad de hacer más efectivas las tareas de vigilancia y dispersión de la fauna y RPAS recreativos, se propone instaurar un sistema de vigilancia y dispersión mediante cetrería robótica combinado con un escáner láser LiDAR (del inglés, "*Light Detection and Ranging*"). LiDAR consiste en una tecnología que emite impulsos láser de baja potencia y mide el tiempo de ida y vuelta del láser que rebota en un objetivo. De esta forma, se permite generar una imagen de nube de puntos en 3D con los datos obtenidos (ver [102]). Por otro lado, el concepto de cetrería robótica viene de un proyecto de DroneVision en colaboración con Aena para el helipuerto de Ceuta en 2020. (Ver [103])

El modo de utilización de este sistema es versátil y puede tener dos métodos de funcionamiento principales en función del tipo de vigilancia, del automatismo y del tipo de LiDAR. Por lo que se destacan dos versiones del sistema, una versión automatizada y otra versión pilotada, respectivamente.

- En el primer método, la acción de vigilancia se basa en la patrulla de drones repartidos por diferentes zonas del aeropuerto en coordinación con la torre de control. En esta fase de patrulla, los RPAS tendrían una secuencia de vuelo programada. En el momento que alguno de estos drones detectase una incursión por parte de un ave o un dron recreativo, estos se dirigirían de forma automatizada. Esta detección se produce por un sistema ALS (del inglés, "*Airbone Laser Scanner*") de LiDAR aerotransportado. (Ver [104]) Es importante mencionar que se precisa de un operario encargado de supervisar las operaciones y establecer puntos de ruta para una navegación autónoma.
- El otro método de vigilancia se basa en el patrullaje de un vehículo terrestre dotado de un LiDAR alrededor de las pistas. De esta forma se podría detectar posibles invasiones por parte de fauna y drones. En el caso de invasión del espacio aéreo, los operarios responsables desplegarían la cetrería robótica compuesta por uno o mas RPAS en función de lo necesario. Estos drones se dirigirían hacia los objetivos de forma pilotada por los operarios que se guiarían por una cámara a bordo, en condiciones VMC (del inglés, "*Visual Meteorological Conditions*"), o por los datos en tiempo real del LiDAR, en condiciones IMC (del inglés, "*Instrumental Meteorological Conditions*").

Es importante destacar que el procedimiento de dispersión se llevaría a cabo de la misma forma en ambos métodos. En caso de que la intrusión ocurriese por parte de un ave, este sería dispersado dirigiéndose hacia él. Sin embargo, en caso de que la invasión del espacio aéreo fuese provocada por un dron civil,

el operario que supervisa o pilota el RPAS informaría a las autoridades competentes que procederían con medidas anti-dron en caso de ser necesario.

En ambas variaciones del sistema se consigue una mayor efectividad y seguridad en el empleo de medidas para las labores de dispersión y vigilancia. Al tener el control del vuelo, los drones que componen la flota de la cetrería robótica, aportan una mayor seguridad en sus desplazamientos y en su ubicación exacta. De esta forma la cetrería robótica podría coordinarse con la torre de control del aeropuerto. Asimismo, también se proporciona la máxima efectividad posible en cuanto a la detección de cualquier animal u objeto penetrando el espacio aéreo aeroportuario, por lo que las acciones de dispersión se tomarían de manera casi instantánea. Otra de las grandes ventajas de la implementación de este sistema es su plena operatividad sin importar las condiciones visuales de la pista. Este sistema sería capaz de continuar plenamente operativo en caso de nocturnidad, lluvia ligera (previa impermeabilización de los componentes electrónicos del dron), niebla, polvo y viento moderado.

Como contraposición, existen también algunas desventajas que dan pie a que esta propuesta de proyecto tenga una línea de continuidad en su desarrollo. El principal inconveniente que se detecta es el coste de la inversión inicial. Al querer desarrollar todo un sistema de vigilancia y dispersión en un aeropuerto con una gran superficie, el coste se eleva. El coste de este sistema se vuelve considerablemente más elevado si se pretende dotar a los drones de LiDAR aerotransportado (ver [105]), por lo que el segundo método descrito anteriormente resulta ser más económico. Otro inconveniente es la complejidad al introducir drones en un espacio aéreo controlado como es el de un aeropuerto. Sin embargo, ENAIRE ya ha llevado a cabo diversos ensayos de integración de drones en espacio aéreo controlado, en proyectos UAS (del inglés, "*Unmanned Aircraft System*"). (Ver [106])

### **3.1.1. Componentes técnicos del sistema**

Para poder llevar a cabo el desarrollo de esta propuesta, se requiere de una serie de tecnologías que deben combinarse para lograr el propósito del sistema. Por lo tanto, continuando con la segregación de funcionalidades descrita en el punto anterior, se detallan las tecnologías y componentes necesarios.

En ambas versiones del sistema se combinan dos tecnologías principales, un dron de tamaño medio/pequeño y un escáner láser LiDAR.

- En la versión automatizada del sistema, el dron debe de tener la capacidad de poder soportar vuelos largos durante el periodo de patrulla. Por lo que se cuenta con la operatividad de un dron con tecnología híbrida capaz de funcionar varias horas mediante la combinación de gasolina y electricidad. Un ejemplo de dron con esta tecnología es el dron AeroHyb de la empresa especialista en drones Aerocamaras. (Ver [107]) Este dron es capaz de operar hasta siete

horas y transportar 5 kg en cargas adicionales durante dos horas. Además de tener un alcance operativo de 100 km.



**Figura 3.1.** Dron AeroHyb de Aerocamaras. (Ver [107])

*En el Anexo F. Las especificaciones técnicas del dron AeroHyb.*

En lo que respecta al LiDAR, este debe ser aerotransportado para dar al dron la capacidad de detectar el elemento intrusivo en espacio aéreo y poderse mover de forma autónoma. Para ello, se plantea incorporar al dron el LiDAR Hovermap de la empresa Emesent. (Ver [108]) Este escáner láser rotativo va a bordo del dron y pesa solo 1,8 kg, por lo que es ideal para que el tiempo de autonomía del dron no se vea demasiado perjudicado. Su peso ligero se logra gracias a su diseño adaptado a fines aeronáuticos, por lo que el material del aparato consiste en una combinación de un marco de aluminio con paneles compuestos de fibra de carbono. Hovermap es una unidad autónoma y versátil de escaneo que permite el mapeo LiDAR del terreno en 3D basada en algoritmos de localización y mapeo simultáneo (SLAM, del inglés, “*Simultaneous Localization And Mapping*”). De esta forma se le permite al sistema mapear en movimiento y volar de forma autónoma cuando no hay GPS disponible. Adicionalmente, el modo de actuación de Hovermap proporciona al dron seguridad respecto a su entorno mediante la prevención de colisiones omnidireccional basada en datos LiDAR. Es decir, los datos que se procesan, provenientes del LiDAR a bordo, se transmiten en forma de un mapa 3D en directo que se visualiza en una tableta (ver [109]). En relación a la autonomía que se le proporciona al dron, Emesent ofrece diversos tipos de niveles de autonomía. El que se propone para garantizar al máximo este nivel es el AL2 (del inglés, “*Autonomy level 2*”). Este nivel de autonomía permite vuelos autónomos más allá del alcance visual e incluso sin cobertura GPS (del inglés, “*Global Positioning System*”). Adicionalmente, este nivel AL2 está dotado de la función “*Tap-to-Fly*”, donde se le permite al operario configurar puntos de ruta inteligentes usando el mapa 3D en directo. De esta forma, toda la navegación del dron hacia los puntos de ruta se produce de forma autónoma. Otro punto fuerte de Hovermap es el modo de “regreso a casa” donde se dirige a la base de operaciones por el camino más rápido. Este modo se activa cuando el operario lo desea, cuando la batería se está agotando, o cuando se activa un mecanismo de seguridad. Es importante mencionar que el despegue y el aterrizaje del

dron se produce de forma automatizada mediante el simple toque del operario a la tableta. (Ver [110]) En relación a la altitud de vuelo del dron sobre el nivel del suelo del aeropuerto, esta será decidida por el *ground controller* que se comunicará con el operario de este sistema para coordinarse. Sin embargo, de acuerdo con las especificaciones técnicas del Hovermap, este tiene un alcance limitado. Por lo que el operario debería colocarse próximo al lugar de operación del dron.



**Figura 3.2.** LiDAR aerotransportado Hovermap de Emesent. (Ver [108])

*En el Anexo G. La ficha de especificaciones técnicas del Hovermap de Emesent.*

- En la versión pilotada del sistema, al igual que en la versión anterior, se precisa de las mismas dos tecnologías base del sistema: un dron y un LiDAR.  
En relación al dron, este no requiere de autonomía como en el caso anterior, puesto que solo se desplegará la cetrería robótica en caso de incursión. En cuanto a los principales requerimientos del dron, este debe de tener un rango de transmisión elevado entre el dron y el controlador, debido a las largas distancias en el campo de vuelo del aeropuerto de Barcelona. Además, el dron debe de tener incorporada una cámara a bordo con buenas propiedades de resolución en video para que el piloto pueda identificar fácilmente el agente intruso y ahuyentarlo en caso de ser necesario. Por todo ello, se precisa del dron Mavic 2 de la empresa DJI, el cual reúne los requisitos necesarios para estas labores. Concretamente, este modelo de RPAS, tiene un alcance de 4 km, detección de obstáculos omnidireccional y una cámara con resolución de video 4K (ver [111] y [112]). La transmisión de las fotografías, videos y controles de vuelo se producen por el sistema incorporado DJI OcuSync. Este permite una distancia de transmisión inalámbrica máxima de hasta 7 km (ver [113]).



**Figura 3.3.** Dron Mavic 2 de DJI. (Ver [111])

*En el Anexo H. La ficha de especificaciones técnicas del dron Mavic 2 de DJI.*

Por lo que respecta a la tecnología LiDAR, su función consiste también en escanear y detectar las aves y drones que entren en el espacio aéreo aeroportuario. Debido al alcance limitado de los escáneres láseres, se pretende colocar el aparato en la superficie superior de un vehículo motorizado eléctricamente capacitado para circular por terreno irregular, por fuera de las pistas de aterrizaje. Al ser transportado por un vehículo, las dimensiones y el peso del escáner deben ser pequeñas. De esta manera, se determina el LS-S1 Long Range LiDAR Sensor como el mejor escáner láser en cuanto a su adaptación a las necesidades descritas. Este aparato desarrollado por la entidad china Leishen Intelligent System (LSLIDAR), tiene un alcance máximo de 500 metros, aunque el alcance nominal es de 250 metros. En cuanto a las dimensiones, este mide 22 cm de largo por 22 cm de ancho y 4,5 cm de alto. Además, su peso es de 1,5 kg, por lo que el traslado del escáner de un vehículo a otro resulta sencillo. Actualmente, este modelo cuenta con dos versiones que se diferencian únicamente por la tasa de generación de puntos de datos (puntos/segundo). En este caso se considera importante implementar el modelo LS256S1 debido a que es capaz de generar el doble de puntos en un segundo respecto el modelo hermano. De esta forma se tiene la seguridad de estar analizando el entorno aeroportuario con el máximo “*real-time*” posible. (Ver [114] y anexo I)

*En el Anexo I. La ficha de especificaciones técnicas de los modelos LS-S1 de LSLIDAR.*



**Figura 3.4.** LiDAR LS-S1 de LSLIDAR. (Ver [114])

Una de las posibles aplicaciones adicionales de este LiDAR por sus parámetros de funcionamiento, es proporcionar autonomía en la conducción al vehículo que lo transporta.

### 3.2. Visión artificial en los estacionamientos de aeronaves

Tanto en el aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol, como en el aeropuerto de Helsinki-Vantaa se ha comprobado la utilidad y las tendencias de uso de los sistemas de visión artificial. Aplicando esta tecnología inteligente, se consigue digitalizar la plataforma y hacerla más eficiente y segura. La visión artificial es también una tecnología muy versátil, por lo que se permite un uso variado de ella en un mismo entorno aeroportuario. Es por este motivo que se considera sumamente importante que los estacionamientos de las aeronaves dispongan de sistemas de visión artificial para controlar y supervisar de forma casi autónoma la asistencia en tierra de la aeronave. De este modo, se facilita la detección y la alerta en caso de no realizarse o no llevarse a cabo correctamente alguna de las tareas propias del *turnaround* a las aeronaves comerciales. Adicionalmente, este sistema permite establecer un modelo predictivo de los tiempos con el que se pueden ver beneficiados tanto el aeropuerto como las aerolíneas. Algunos de estas ventajas son las siguientes:

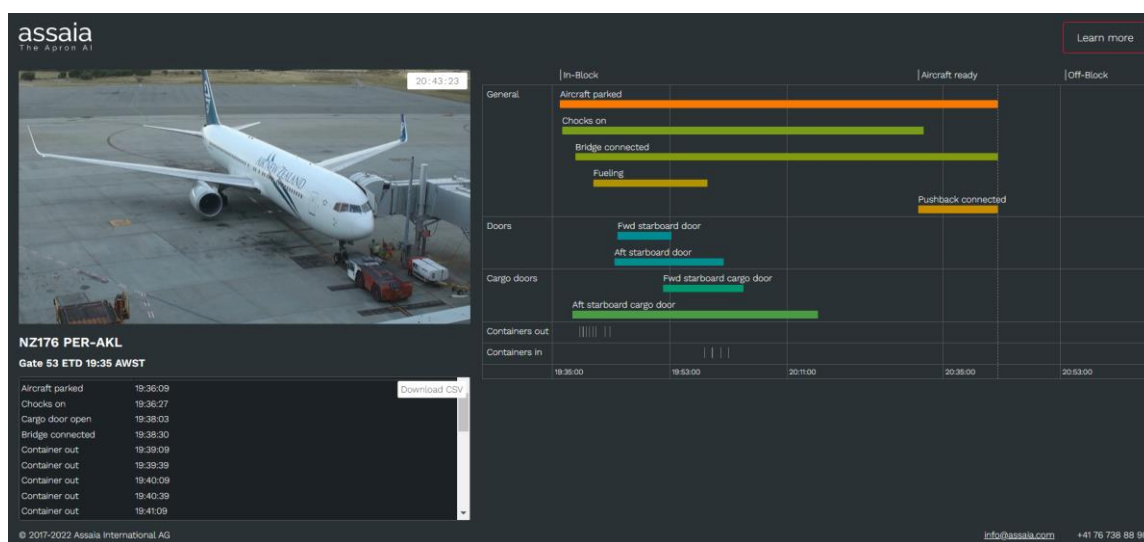
- Aumenta la seguridad de las operaciones aeroportuarias.
- Se genera una predicción precisa de los tiempos, por lo que mejora la planificación de recursos y la toma de decisiones.
- Reduce los costes operacionales asociados a los retrasos de los vuelos.
- Optimización del nivel de servicio del aeropuerto.
- Comercialización de los datos aeroportuarios.
- Ayuda a determinar si el estacionamiento de la aeronave esta libre de objetos extraños, FOD.

Para instalar un sistema de visión artificial, se precisa principalmente de dos componentes, una cámara y un procesador de datos. La cámara es la encargada de captar las imágenes del entorno que, posteriormente, son introducidas a modo de datos en un algoritmo. Este algoritmo identifica una serie de datos que previamente han sido establecidos, reconociendo así los equipos de *handling*. Asimismo, también se puede adoptar una solución de inteligencia artificial aplicada a visión artificial. Esto consiste en el “etiquetado” de una serie de datos a modo que el software aprende a partir de ellos sobre una red neuronal profunda, DNN (del inglés, “*Deep Neuronal Network*”). De esta forma, el sistema puede reconocer datos que nunca había visto antes (ver [115]).

Para lograr llevar a cabo la implementación de este sistema, se pretende contar con la solución de software Apron AI de la empresa suiza ASSAIA. Apron AI es capaz de tomar secuencias de video y convertir los datos de video en datos estructurados. De manera que es capaz de detectar, de manera confiable, cualquier evento que sea identificable visualmente. Por lo que se consigue identificar los eventos en forma de respuesta, por ejemplo: pasarela conectada, calzos colocados, camión cisterna en posición, etc. Adicionalmente, el sistema ofrece un análisis predictivo que ayuda a las aerolíneas y a los aeropuertos a gestionar las operaciones. (Ver [116] y [117])

Particularmente, Apron AI puede funcionar mediante una amplia gama de modelos de cámaras ya existentes en los aeropuertos, por lo que no es necesario dotar al aeropuerto de una gran infraestructura adicional. En caso de que las cámaras estén colocadas correctamente y la calidad de estas sea buena, se pueden cubrir varios estacionamientos con una misma cámara. No obstante, la funcionalidad del sistema podría verse limitada. Además, el sistema de ASSAIA mantiene niveles de rendimiento normales ante tormentas de lluvia, nieve, niebla o arena. El rendimiento por la noche mejora debido a la iluminación de la plataforma. (Ver [117])

A continuación, en la figura 3.5, se muestra la simulación de una demo del software Apron AI en la puerta de embarque 53 del aeropuerto de Perth, Australia para el vuelo NZ175 con destino Auckland, Nueva Zelanda. En esta imagen se muestra la secuencia de video del *turnaround* junto con un registro de los eventos detectados. Estos van vinculados a un diagrama de Gantt donde se muestra la duración de las tareas de asistencia a la aeronave.



**Figura 3.5.** Captura de la ejecución de la demo del software Apron AI de ASSAIA. (Ver [117])

Debido a las mejoras potenciales en la gestión de las operaciones aeroportuarias que este sistema ofrece y a la poca inversión que se debe hacer para implementarlo, se propone este sistema en aeropuertos con capacidades medias y altas. Estos aeropuertos buscan tener el mayor número de vuelos en hora para reducir los retrasos que generan un aumento en los costes operacionales. Además, se prevé que este tipo de softwares se instalen, en un futuro, de forma más generalizada en los aeropuertos comerciales.

### 3.3. Sistema de seguimiento de pasajeros en el edificio terminal

Como se ha visto en este proyecto, un edificio terminal es el lugar donde se realizan todos los trámites aeroportuarios que deben de realizar los pasajeros.

Una terminal es un elemento de transferencia de pasajeros y equipajes del transporte aéreo (ver [118]). Por lo que la gestión de los flujos de pasajeros es una tarea muy importante y compleja con muchos aspectos a tener en cuenta. Todo aeropuerto con una ocupación de pasajeros considerable trata de minimizar las congestiones de pasajeros y los posibles cuellos de botella que se forman en la terminal. Estos ralentizan el funcionamiento del aeropuerto y se forman por pasajeros que forman largas colas para realizar alguno de los tramites. Los problemas que se observan con frecuencia en las terminales de muchos aeropuertos vienen relacionados con los incrementos en el número de pasajeros. De esta manera, el aeropuerto debe de ajustar sus procedimientos e implementar alguna solución para los pasajeros. Estas congestiones de pasajeros se forman comúnmente en la zona de facturación, los filtros de seguridad y las puertas de embarque. (Ver [119])

Una buena manera de detectar estos problemas frecuentes es mediante la combinación de sensores 3D junto con el software de la empresa, también suiza, Xovis. Esta combinación garantiza una alta precisión en la representación del flujo de pasajeros en tiempo real. Además, el software muestra varios indicadores clave de rendimiento, como los tiempos de espera, el volumen de pasajeros e identifica los períodos de mayor tráfico. Esto ayuda a comprender y monitorear cómo se forman y cambian las colas. Es importante mencionar que este tipo de software cuenta con la conformidad de las regulaciones de privacidad amparadas al Reglamento General de Protección de Datos (RGPD).

Los principales beneficios de este sistema son los siguientes: (ver [120])

- Mejora los procesos operativos: la visualización de los acontecimientos en directo facilita las reacciones inmediatas para minimizar las colas y los tiempos de espera excesivos. De esta forma se puede optimizar los horarios de apertura, cantidad de filas y otras configuraciones.
- Detecta las colas automáticamente: se detecta de forma automática y con precisión quien pertenece a una cola específica desestructurada. De esta forma se puede actuar al momento reconfigurando las colas.
- Mide los indicadores clave de rendimiento (KPI, del inglés, “*Key Performance Indicator*”): el sistema es capaz de registrar, calcular y medir la longitud de las colas, los diferentes tiempos de espera, los patrones de llegada de pasajeros, los tiempos de permanencia en el aeropuerto, el rendimiento de la tienda e incluso las colas de taxis y el uso de los baños.
- Mejora la experiencia del pasajero: mediante la publicación de los tiempos de espera en la terminal o en la app del aeropuerto. La probabilidad de que los pasajeros aguanten la espera con mayor facilidad aumenta si estos disponen de una señalización digital que muestra los tiempos de espera.
- Comercialización de los datos: de manera predeterminada, los datos son propiedad del grupo gestor del aeropuerto. No obstante, los KPI medidos y obtenidos son de gran valor para las empresas de *handling*. Por lo que pueden estar interesados en comprar estos datos para su planificación. Adicionalmente, este sistema también contribuye en aumentar los beneficios en el sector no aeronáutico.

Tal y como se ha comentado antes, el sistema se compone por dos componentes principales: los sensores y el software.

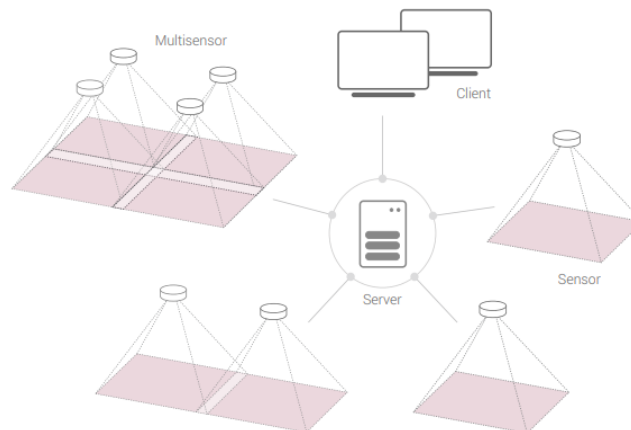
Los sensores deben ir instalados en el techo para ser más funcionales. Xovis ofrece varios modelos de sensores. Los principales son el PC2R/PC2S, PC3 y PC4, cuyas diferencias se basan en las diferentes alturas de instalación. De esta forma, dependiendo de la estructura de la terminal se escogería un modelo u otro. En términos generales, las alturas operativas van de los 2,2 m a los 30 m, permitiendo cubrir más de 100 m<sup>2</sup> de superficie. Una ventaja positiva de este tipo de sensores es su alimentación a través de Ethernet. De esta forma, se permite que los datos y la alimentación se ejecuten en los mismos cables. Todos estos sensores cuentan con una funcionalidad inteligente de los algoritmos de IA que mejoran la precisión y la flexibilidad en el conteo de pasajeros. En caso de ser necesario, estos sensores pueden combinarse entre varios para crear un sistema multisensor con la finalidad de cubrir más terreno. (Ver [83])



**Figura 3.6.** Los sensores PC2R/PC2S, PC3 y PC4 de Xovis. (Ver [83])

*En el anexo J. La ficha de especificaciones técnicas de los sensores de Xovis.*

Por otro lado, el software que proporciona Xovis está especializado en la gestión de pasajeros en entornos aeroportuarios y consiste en un sistema de seguimiento de pasajeros (PTS, del inglés, "Passenger Tracking System"). Este software está basado en una arquitectura cliente-servidor, mostrada en la figura 3.7, de Windows. Este software está instalado en el servidor de la instalación del cliente. El software se encarga de recibir todos los datos de los sensores para calcular los KPI y visualizarlos en la interfaz del operario. En caso de que el aeropuerto tenga un sistema multisensor, debe tener en cuenta que el servidor tiene la capacidad de manejar hasta 600 sensores. (Ver [83])



**Figura 3.7.** Arquitectura servidor-cliente del sistema. (Ver [83])

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

En virtud de lo estudiado, ahora se tiene conocimiento acerca de las nuevas funcionalidades de los aeropuertos inteligentes que permiten mejorar el rendimiento de estos. A lo largo del proyecto, se han ido determinando las tendencias digitales de los aeropuertos en términos generales y particulares. En este aspecto, es importante destacar las diferentes motivaciones que tiene un aeropuerto para querer llevar a cabo un plan de digitalización: la mejora operacional y la sostenibilidad.

En el primer caso, el aeropuerto pretende agilizar el funcionamiento de los procesos y hacerlo más simplificado y accesible para el pasajero. Sin embargo, existe un límite en relación a cuánto se puede aumentar la eficiencia de los procesos que realizan los pasajeros. Gracias a este proyecto, se puede entender que cuando un aeropuerto desea manejar un mayor número de pasajeros, se precisa de tecnología y automatización. Además, al aplicar estos avances tecnológicos en un entorno aeroportuario, también se consigue mejorar la experiencia del pasajero en la terminal.

En el segundo caso, la tecnología proporciona el factor clave a los aeropuertos para llevar a cabo un crecimiento sostenible y respetuoso con el medio ambiente dentro de lo posible. El uso de la tecnología en el lado aire impacta directamente en la reducción de gases contaminantes, mientras que en el lado tierra el impacto se produce de forma indirecta. En el caso del lado aire, los vehículos autónomos motorizados eléctricamente, el uso de softwares basados en IA y el uso de drones son un motivo de progreso y crecimiento sostenible de forma directa. En el caso del lado tierra, la digitalización de los procesos mediante la obtención de datos y el tratamiento de estos de una forma digitalizada contribuyen al medio ambiente de una forma más indirecta.

De todo lo anterior, se deduce en la investigación que los aeropuertos inteligentes son capaces de exprimir su capacidad mediante la tecnología. Sin embargo, deben de protegerse de las nuevas problemáticas de trabajar con un entorno digitalizado. Principalmente, se destaca el riesgo de ataques cibernéticos que vulneran el tratamiento de grandes cantidades de datos confidenciales de un aeropuerto. Además, el riesgo de sufrir un corte de electricidad puede derivar en la inoperatividad de las funciones del aeropuerto. Por lo que se genera una necesidad constante de garantizar al aeropuerto energía eléctrica. No obstante, la implementación de un modelo de ciberseguridad fiable y robusto juega un rol fundamental en el correcto funcionamiento de un aeropuerto inteligente. Por otro lado, es necesario prever un escenario donde se produce una fallada de la energía eléctrica y se adopta una fuente alternativa preparada y disponible en todo momento para estos casos.

Otro aspecto clave que se debe tener en cuenta en el funcionamiento de los aeropuertos inteligentes es el compartimiento de información con los *stakeholders*, que, de alguna manera sufren el impacto de las decisiones que se toman. De esta forma, todos los datos que se obtienen de las nuevas fuentes de información digitales pueden ser compartidos a través del A-CDM o

TAM. Favoreciendo, de esta manera, un plan de operaciones del aeropuerto proactivo y estratégico con una visión completa del aeropuerto en tiempo real.

De acuerdo con los objetivos planteados, se ha podido contribuir con un conjunto de propuestas tecnológicas que repercutirían positivamente en la gestión y desarrollo de las funciones de un aeropuerto. La primera idea consigue plasmar la combinación de las nuevas tecnologías de la industria 4.0 con el entorno aeroportuario en forma de una idea con opción a la automatización. En relación a las dos versiones del sistema de vigilancia y dispersión de fauna y drones, finalmente se considera la versión sin automatización como la más viable. Se llega a esta conclusión principalmente por la limitación del alcance del LIDAR aerotransportado. Como consecuencia, se abre la posibilidad a una línea de continuidad en relación a las capacidades de alcance de esta tecnología. En caso de aumentar el alcance, el funcionamiento de la versión automatizada del sistema sería completamente viable.

En relación a las otras dos propuestas, la primera se presenta como una herramienta de ayuda en el proceso de asistencia a la aeronave en tierra en el lado aire. Por lo que se espera que, en un futuro, el uso de este tipo de tecnologías de visión artificial esté más extendido en los aeropuertos. Por otro lado, la segunda propuesta contribuye a la correcta gestión de los flujos de pasajeros dentro del edificio terminal. La relevancia de gestionar el movimiento de los pasajeros hará que, próximamente, el empleo de softwares en este campo sea un requisito indispensable en aeropuertos con capacidades medias y elevadas.

En resumen, las potencialidades de la digitalización aplicada a los aeropuertos son muy prometedoras en la actualidad y en el futuro. Por lo que, múltiples aeropuertos contemplan un plan de transición hacia la digitalización mediante la incorporación de nuevas tecnologías. Este proyecto confirma las múltiples aplicaciones de estas tecnologías en varios entornos aeroportuarios y la necesidad de estas implementaciones para la obtención de nuevos datos indispensables en los nuevos tiempos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Vicent Selva Belén, Economiapedia, “Revolución Industrial”, 2016.  
<https://economipedia.com/definiciones/primer-revolucion-industrial.html>
- [2] Peralta-Abarca, J. del C., Martínez-Bahena, B., & Enríquez-Urbano, J. (2020). Industria 4.0. *Inventio*, 16(39).
- [3] Tan, J. H., & Masood, T. (2021). Adoption of Industry 4.0 technologies in airports-A systematic literature review.
- [4] T.Zheng, M.Ardolino, A.Bacchetti y M.Perona, “The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literatura review.
- [5] Ingelcom, “Ventajas de la Industria 4.0”.  
<https://www.ingelcom.com.ec/blog/blog-1/post/ventajas-de-la-industria-4-0-13>
- [6] Caso 10, “Qué es la Industria 4.0 y que beneficios tiene”.  
<https://www.clase10.com/que-es-la-industria-4-0-y-que-beneficios-tiene-2/>
- [7] Universidad Internacional de Valencia, “Revolución 4.0: importancia, ventajas y desventajas”, 2022.  
<https://www.universidadviu.com/co/actualidad/nuestros-expertos/revolucion-40-importancia-ventajas-y-desventajas>
- [8] Enisa, UE, “Smart Airports: How to protect airport passengers from cyber disruptions”, 2016.  
<https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/smart-airports-how-to-protect-airport-passengers-from-cyber-disruptions>
- [9] Nexus Integra, “Smart Airports, la transformación digital en los aeropuertos”.  
<https://nexusintegra.io/es/smart-airports-transformacion-digital-aeropuertos/#main>
- [10] Zaharia, S. E., & Pietreanu, C. V. (2018). Challenges in airport digital transformation. *Transportation Research Procedia*, 35, 90–99.
- [11] Global Infrastructure Hub, “Smart Airports,” 2020.  
<https://www.gihub.org/resources/showcase-projects/smart-airports/>
- [12] Rajapaksha, A., & Jayasuriya, Dr. N. (2020). Smart Airport: A Review on Future of the Airport Operation. *Global Journal of Management and Business Research*, 25–34.

- [13] Kovacikova, M., Janoskova, P., & Kovacikova, K. (2021). The comparison of digitalization of Slovak Airports within the digital transformation of European Union countries. *Transportation Research Procedia*, 55, 1281–1288.
- [14] Hong, 홍진우 JW. (n.d.). 스마트공항과 차세대 보안검색 기술 Smart Airport and Next Generation Security Screening Technology.
- [15] Miraz, M. H., Excell, P. S., Ware, A., Soomro, S.; Ali, M. (Eds.). (2019). *Emerging Technologies in Computing (Vol. 285)*. Springer International Publishing.
- [16] Aero Expo, Detector de Drogas IONSCAN 500DT.  
<https://www.aeroexpo.online/es/prod/smiths-detection/product-168960-24903.html>
- [17] Thomas, Bombas OEM para equipos de detección y trazas.  
<https://www.gardnerdenver.com/es-es/thomas/industries-and-applications/security-defense/trace-detection>
- [18] Hättenschwiler, N., Sterchi, Y., Mendes, M., Schwaninger, A. (2018). Automation in airport security X-ray screening of cabin baggage: Examining benefits and possible implementations of automated explosives detection. *Applied Ergonomics*, 72, 58–68.
- [19] AeroExpo, “DSA Detection: Detector de Explosivos CMW4000”.  
<https://www.aeroexpo.online/es/prod/dsa-detection-llc/product-168623-4948.html>
- [20] Patel, Vishra, "Airport Passenger Processing Technology: A Biometric Airport Journey" (2018). *Dissertations and Theses*. 385.
- [21] Virgil Petrescu, R. V. (2019). Face Recognition as a Biometric Application. *Journal of Mechatronics and Robotics*, 237–257.
- [22] Karthik, S., Chinnadurai, S. H., Logeswaran, S. L., Veluchamy, M. (2015). Fingerprint Recognition by Minutiae Points for Airport Security.
- [23] Horst, J. Iris Recognition: A General Overview.
- [24] Biometricos, “Control de fronteras en los aeropuertos AENA”, 2018.  
<https://www.biometricos.net/2018/01/control-de-fronteras-en-los-aeropuertos.html>
- [25] Fraser, J. “The Robot Airport Workers of Seoul,” 2019.  
<https://jordanfraser.medium.com/the-robot-airport-workers-of-seoul-a08349f4f44e>
- [26] Medeiros, J. “LG Made An Airport Guide Robot and It’s Going Places (Literally),” 2018.

- <https://www.voicesummit.ai/blog-old/lq-made-an-airport-guide-robot-and-its-going-places-literally-0>
- [27] La Vanguardia, “Innovación: Los robots toman el relevo en el aeropuerto de Seúl”, 2017.  
<https://www.lavanguardia.com/ocio/viajes/20170707/423945745689/robots-aeropuerto-incheon-seul-informan-vuelos-limpian-suelo.html>
- [28] Sabatová, J., Galanda, J., Adamčík, F., Jezný, M., Šulej, R. (2016). Modern Trends in Airport Self Check-in Kiosks. MAD - Magazine of Aviation Development, 20, 4-10.
- [29] Quintanilla, J.L., Bacinerias, “El primer sistema de autofacturación de equipaje en aeropuertos de España”, 2015.  
<https://bacinerias.com/2015/02/el-primer-sistema-de-autofacturacion-de-equipaje-en-aeropuertos-de-espana/>
- [30] Martin-Domingo, L., Martín, J. C. (2016). Airport mobile internet an innovation. Journal of Air Transport Management, 55, 102–112.
- [31] Keis, F. (2014). WHITE - Winter hazards in terminal environment: An automated nowcasting system for Munich Airport. Meteorologische Zeitschrift, 24(1), 61–82.
- [32] Zazzaro, G., Romano, G., Mercogliano, P., Rillo, V., Kauczok, S. (2015). Short range fog forecasting by applying data mining techniques: Three different temporal resolution models for fog nowcasting on CDG airport. 2nd IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace, MetroAeroSpace 2015 - Proceedings, 448–453.
- [33] Zhang, T., Ouyang, Y., He, Y. (2008). Traceable Air Baggage Handling System Based on RFID Tags in the Airport. 3, 106–115.
- [34] Control de Inventarios. “SATE Sistema automático de gestión de equipajes,” 2011.  
<https://controlinventarios.wordpress.com/2013/11/15/sate-sistema-automatico-de-gestion-de-equipajes/>
- [35] SICK Sensor Intelligence, “Lectura automática (lectura RFID) de la etiqueta del equipaje durante su facturación”.  
<https://www.sick.com/es/es/sectores/aeropuerto/transporte-de-equipajes-de-vuelo/facturacion-automatica-de-equipajes/lectura-automatica-lectura-rfid-de-la-etiqueta-del-equipaje-durante-su-facturacion/c/p420158>
- [36] Wikipedia, “List of the busiest Airports in Europe”.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_the\\_busiest\\_airports\\_in\\_Europe#2019](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Europe#2019)
- [37] El Mercantil, top 20 de carga aérea en 2019.

- <https://elmercantil.com/indicador/top-20-de-carga-aerea-en-los-aeropuertos-europeos-hasta-septiembre-de-2019/>
- [38] Wikipedia, "Amsterdam Airport Schiphol".  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Amsterdam\\_Airport\\_Schiphol](https://en.wikipedia.org/wiki/Amsterdam_Airport_Schiphol)
- [39] IoT Academy, "Schiphol Airport is becoming the greatest digital airport in the world".  
<https://www.iotacademy.nl/stories-en/schiphol-airport-is-becoming-the-greatest-digital-airport-in-the-world>
- [40] Schiphol Group, "An Autonomous Airport in 2050", 2021.  
<https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/an-autonomous-airport-in-2050/>
- [41] The Open Group, "Digital Transformation at Amsterdam's Schiphol Airport: A conversation with Aaldert Hofman", 2017.  
<https://blog.opengroup.org/2017/10/17/digital-transformation-at-amsterdams-schiphol-airport-a-conversation-with-aaldert-hofman/>
- [42] Taxibot International, "The world's only certified and operational Taxiing alternative: Concept", 2013.  
<https://www.taxibot-international.com/concept>
- [43] May, T., Airport Industry-News, "Amsterdam Airport Schiphol has announced plans to buy two TaxiBots to tow taxiing aircraft more sustainably", 2022.  
<https://airportindustry-news.com/schiphol-airport-to-taxi-aircraft-more-sustainably-with-taxibots/>
- [44] Schiphol Group, "Sustainable taxiing taxibot trial", 2021.  
<https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/sustainable-taxiing-taxibot-trial/>
- [45] Taxibot International, "The world's only certified and operational Taxiing alternative: Features", 2013.  
<https://www.taxibot-international.com/features>
- [46] Schiphol Group, "Schiphol tests self-driving baggage tractor", 2021.  
<https://news.schiphol.com/schiphol-tests-self-driving-baggage-tractor/>
- [47] Smart Airport Systems, "TractEasy".  
<https://www.smart-airport-systems.com/solutions/tracteasy/>
- [48] TLD Group, "TractEasy".  
<https://www.tld-group.com/products/baggage-tractors/tracteasy/>
- [49] Navarro García, J., Defensa, "TractEasy, la cabeza tractora autónoma", 2017.

<https://www.defensa.com/aeronautica-y-espacio/tracteasy-cabeza-tractora-autonoma>

- [50] Schiphol Group, "Pioneering autonomous passenger bridges", 2021.  
<https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/pioneering-autonomous-passenger-bridges/>
- [51] Sioux Technologies, "Schiphol & Sioux are pioneering with self-driving autonomous passenger bridges".  
<https://www.siox.eu/about-siox/news/schiphol-siox-pioneering-self-driving-autonomous-passenger-bridges/?prefLang=en-us>
- [52] Mouser Electronics, "Datasheet: ADAM 6050, ADAM 6051, ADAM 6052".
- [53] Schiphol Group, "Aircraft stands' now inspected with lasers and AI", 2022.  
<https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/aircraft-stands-concrete-paving-now-inspected-with-lasers-and-ai/>
- [54] Ramón Botella, UPC, "Gestión y Mantenimiento de Aeropuertos: Firms de Aeropuertos".
- [55] Schiphol Group, "A predictable turnaround process thanks to turnaround insights", 2020.  
<https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/a-predictable-turnaround-process-thanks-to-turnaround-insights/>
- [56] Pepijn Van Vugt, ai.nl, "How Floris Hoogenboom and Schiphol are using artificial intelligence to make the airport autonomous by 2050", 2022.  
<https://www.ai.nl/artificial-intelligence/how-floris-hoogenboom-and-schiphol-are-using-artificial-intelligence-to-make-the-airport-autonomous-by-2050/>
- [57] Schiphol Group, "Schiphol begins one-week trial with inspection drones", 2020.  
<https://news.schiphol.com/schiphol-begins-one-week-trial-with-inspection-drones/>
- [58] Hispaviación Drones, "El Aeropuerto Schiphol de Ámsterdam realizará pruebas de inspección con drones", 2020.  
<https://www.hispaviacion.es/el-aeropuerto-schiphol-de-amsterdam-realizara-pruebas-de-inspeccion-con-drones/>
- [59] Remco Projects, YouTube, "Baggage Handling at Amsterdam Schiphol", 2010.  
<https://www.youtube.com/watch?v=Cqejei5WNcw>
- [60] Schiphol Group, "Self Service Units", 2020.  
<https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/self-service-units/>

- [61] Prestop, “Schiphol improving provision at the airport with self-service information points”.  
<https://www.prestop.com/cases/amsterdam-airport-schiphol-self-service-information-points/>
- [62] Schiphol Group, “High-tech travel at Schiphol”, 2022.  
<https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/high-tech-travel-at-schiphol/>
- [63] IP User Group Latinoamérica, “Nuevo escáner de seguridad se probará en aeropuertos”.  
<https://www.ipusergrouplatino.com/articles/article/8845868/191814.htm>
- [64] U.S. Department of Health & Human Services, National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, “Tomografía Computarizada (TC)”, 2022.  
<https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/tomograf%C3%ADa-computarizada-tc>
- [65] Schiphol Group, “Reduce travel stress”.  
<https://www.schiphol.nl/en/developer-center/page/our-wait-times-api-explored/>
- [66] Carstens, C., Amsterdam SmartCity, “Schiphol to Expand Predictability Technology to Make Passenger Journeys more Seamless”, 2018.  
<https://amsterdamsmartcity.com/updates/news/schiphol-to-expand-predictability-technology-to-ma>
- [67] Helsinki Airport, “Informational Guide to Helsinki-Vantaa International Airport (HEL) - Non Official”.  
<https://www.helsinki-airport.com/>
- [68] Finavia, “Helsinki Airport celebrates its 70th anniversary”, 2022.  
<https://www.finavia.fi/en/newsroom/2022/helsinki-airport-celebrates-its-70th-anniversary>
- [69] OpenStreetMap contributors - OpenStreetMap, CC BY-SA 4.0.  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=55886203>
- [70] Runway SnowBot, “The Runway SnowBot: Autonomous airport snow clearing – from vision to a proof of concept”.  
<https://www.runwaysnowbot.com/>
- [71] Finavia, “Helsinki Airport Development Programme”.  
<https://www.finavia.fi/en/helsinki-airport-development-programme>
- [72] Runway SnowBot, “The Runway SnowBot: Images”.  
<https://www.runwaysnowbot.com/images>

- [73] Valtra, “Mantenimiento de aeropuertos más seguro y sostenible: Valtra y Nokian Tyres colaboran en un proyecto de retirada autónoma de nieve”, 2019.  
<https://www.valtra.es/noticias-y-eventos/mantenimiento-de-aeropuertos-mas-seguro-y-sostenible.html>
- [74] Finavia, “Technology is the enabler for Finavia’s responsible and profitable growth”, 2021.  
<https://www.finavia.fi/en/newsroom/2021/technology-enabler-finavias-responsible-and-profitable-growth>
- [75] Aviation24.be, “Finland’s airports will soon be run by AI”, 2019.  
<https://www.aviation24.be/airlines/finnair/finlands-airports-will-soon-be-run-by-ai/>
- [76] Finavia, “AOS - situational awareness system”.  
<https://www.finavia.fi/en/commercial-businesses/aos>
- [77] Finavia, “Machine vision can enhance airport functions”, 2019.  
<https://www.finavia.fi/en/newsroom/2019/machine-vision-can-enhance-airport-functions>
- [78] Finavia, “Finavia’s Newsroom”.  
<https://www.finavia.fi/en/newsroom?keys=digitalization&f%5B0%5D=airport%3A211&f%5B1%5D=category%3A2093#newsroom-facets>
- [79] Confidex, “Finavia offers better customer experience and luggage trolley availability through RFID”.  
<https://www.confidex.com/success-stories/finavia-offers-better-customer-experience-and-luggage-trolley-availability-through-rfid/>
- [80] Finavia, “Face detection, customer service chatbot, a targeted display wall – Here’s how AI is used at Helsinki Airport”, 2018.  
<https://www.finavia.fi/en/newsroom/2018/face-detection-customer-service-chatbot-targeted-display-wall-heres-how-ai-used>
- [81] Finavia, “New technology makes it even more convenient to start your journey at the renewed Helsinki Airport”, 2022.  
<https://www.finavia.fi/en/newsroom/2022/new-technology-makes-it-even-more-convenient-start-your-journey-renewed-helsinki>
- [82] Airport Technology, “Helsinki Airport strengthens passenger experience with technology”, 2021.  
<https://www.airport-technology.com/features/helsinki-airport-strengthens-passenger-experience-technology/>
- [83] Xovis, “AERO brochure Airports”.  
[https://api.xovis.com/fileadmin/user\\_upload/data/stories/Xovis-AERO-brochure-Airports.pdf](https://api.xovis.com/fileadmin/user_upload/data/stories/Xovis-AERO-brochure-Airports.pdf)

- [84] Institut d'Estadística de Catalunya, Gencat, "Transport aeri. Moviment de passatgers. Per aeroports i tipus de servei".  
<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=anuals&n=10511&t=202100>
- [85] AENA Noticias, "Aena y Aeroporti di Roma se unen para promover la innovación como clave para una experiencia de viaje segura y lanzan la red internacional "Aeropuertos para la innovación"", 2021.  
<https://www.aena.es/es/corporativa/innovacion/noticias.html>
- [86] AENA Noticias, "Aena y Aeropuertos de Roma suman los aeropuertos de Atenas y de la Costa Azul a la red Airports for Innovation", 2022.  
<https://www.aena.es/es/corporativa/innovacion/noticias.html>
- [87] Aena, Informe de Gestión Consolidado, 2021.
- [88] Aena, "Estadísticas de tráfico aéreo", 2019.  
<https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html>
- [89] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, Gobierno de España, "Plan Director del aeropuerto de Josep Tarradellas Barcelona-el Prat", 1999.  
<https://www.mitma.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/integracion-territorial-aeroportuaria/planes-directores/plan-director-del-aeropuerto-de-barcelona>
- [90] Viquipèdia, "Aeroport Josep Tarradellas Barcelona – el Prat", 2022.  
[https://ca.wikipedia.org/wiki/Aeroport\\_Josep\\_Tarradellas\\_Barcelona\\_%E2%80%93\\_el\\_Prats](https://ca.wikipedia.org/wiki/Aeroport_Josep_Tarradellas_Barcelona_%E2%80%93_el_Prats)
- [91] Aena, Informes de Gestión Consolidado anuales.  
<https://www.aena.es/es/corporativa/sobre-aena/informes-anuales.html>
- [92] Aena, "Programas-proyectos: conocimiento del pasajero", 2021.  
<https://www.aena.es/es/corporativa/innovacion/programas-proyectos/conocimiento-del-pasajero.html>
- [93] Diana Ramón Vilarasau, Hosteltur, "La biometría aterriza en El Prat: del control al embarque sin documentos", 2021.  
[https://www.hosteltur.com/148709\\_la-biometria-ateriza-en-el-prat-del-control-al-embarque-sin-documentos.html](https://www.hosteltur.com/148709_la-biometria-ateriza-en-el-prat-del-control-al-embarque-sin-documentos.html)
- [94] Ortega Figueiral, J., The New Barcelona Post, "Aeropuerto de Barcelona: pionero en "volar por la cara"", 2021.  
<https://www.thenewbarcelonapost.com/aeropuerto-de-barcelona-pionero-embarque-con-reconocimiento-facial/>
- [95] Roberto L. Vargas, La Razón, "Telefónica y Aena lanzan una app para no perderse en el aeropuerto", 2020.  
<https://www.larazon.es/economia/20201009/dymuh3mesbdhdp6gidtvmidnze.html>

- [96] AeroTendencias, “Visita al sistema de tratamiento de equipajes del aeropuerto de Barcelona”, 2010.  
<https://www.aerotendencias.com/aeropuertos/2220-visita-al-sistema-automatizado-de-tratamiento-de-equipajes-del-aeropuerto-de-barcelona/>
- [97] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, Ministerio de Fomento del Gobierno de España, “Orden FOM/2614/2006, de 13 de julio, por la que se aprueba el Plan Director del Aeropuerto de Girona.”, 2006.  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-14491](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-14491)
- [98] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, Ministerio de Fomento del Gobierno de España, “Orden FOM/2616/2006, de 13 de julio, por la que se aprueba el Plan Director del Aeropuerto de Reus.”, 2006.  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-14493](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-14493)
- [99] Aena, “El Aeropuerto de Girona-Costa Brava, primero en realizar un simulacro de accidente aéreo con drones policiales como en una emergencia real”, 2019.  
<https://www.aena.es/es/prensa/el-aeropuerto-de-girona-costa-brava-primero-en-realizar-un-simulacro-de---accidente-aereo-con-drones-policiales-como-en-una-emergencia-real.html>
- [100] Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), Mapa de Fauna de Interés para la Aviación: Aeropuerto de Barcelona-el Prat.  
[https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/aesa\\_web/themes/aesa/AesaFauna/aeropuerto\\_ficha.html?aeropuerto=BCN](https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/aesa_web/themes/aesa/AesaFauna/aeropuerto_ficha.html?aeropuerto=BCN)
- [101] Ortega Figueiral, J., La Vanguardia, “Vigilantes con plumas”, 2016.  
<https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20160501/401482504244/vigilantes-con-plumas.html>
- [102] Quanergy, LiDAR (Light Detection and Ranging).  
<https://quanergy.com/es/what-is-lidar/>
- [103] Licitaciones.es, “Prueba piloto para validación de servicio de cetrería robótica en helipuerto de Ceuta”, 2020.  
<https://www.licitaciones.es/dv/008ceddc-0af2-4bf6-a7fe-0be88287ca33?showAllKey=&user=&favToken=>
- [104] Topcad Ingeniería, “Lidar Aerotransportado”, 2012.  
<https://www.topcadingenieria.com/index.php/servicios/lidar-aerotransportado>
- [105] Precisión GPS, “Hovermap Emesent”, 2018.  
<https://precisiongps.mx/product/hovermap-emesent>
- [106] ENAIRE, “Drones”.  
<https://www.enaire.es/servicios/drones>

- [107] Aerocamaras, “Dron Híbrido AeroHyb, el dron con más autonomía del mercado”, 2019.  
<https://dronehibrido.com/es/>
- [108] Emesent, “Hovermap”, 2020.  
<https://es.emesent.io/hovermap/>
- [109] Emesent, “Hovermap: especificaciones físicas”, 2020.  
<https://es.emesent.io/hovermap/#physical-specifications>
- [110] Emesent, “READY, TAP, FLY: autonomy level 2”, 2022.  
<https://www.emesent.io/autonomy-level-2/>
- [111] DJI, “Mavic 2”.  
<https://www.dji.com/es/mavic-2>
- [112] Volando con drones, “Los mejores drones de largo alcance [2021]”, 2021.  
<https://volandocondrones.com/drones-de-largo-alcance/#1-km-drones-economicos-de-largo-alcance>
- [113] DJI tienda Madrid, “DJI OcuSync Sistema aéreo”.  
<https://djiarsmadrid.com/es/inicio/552-dji-ocusync-sistema-aereo.html>
- [114] LSLiDAR, “LS Long Range LiDAR Scanner Products”.  
<https://www.leishenlidar.com/lidar-sensor-products/long-range-lidar/>
- [115] Intensas, “Ciclo IA – Diferencia entre visión artificial e inteligencia artificial aplicada a la visión artificial”, 2020.  
<https://www.intensas.com/ciclo-ia-diferencia-entre-vision-artificial-e-inteligencia-artificial-aplicada-a-la-vision-artificial/>
- [116] ISSUU, “Assaia Apron AI”, 2020.  
[https://issuu.com/donnierust/docs/tle\\_august\\_2020\\_issue\\_v0\\_1/s/10850603](https://issuu.com/donnierust/docs/tle_august_2020_issue_v0_1/s/10850603)
- [117] Assaia, “The future of airside operations”.  
<https://assaia.com/>
- [118] Trapote, C., Maldonado, O., UPC, “Planificación y Procesos Aeroportuarios: Diseño terminal parte 1”.
- [119] Karzan Salih M. Shareef, Southern Illinois University, “Common problems of airport passenger terminal operations”, 2008.
- [120] Xovis, “The airport software solution for managing passenger flow”.  
<https://www.xovis.com/technology/airport-software>



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i  
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# ANEXOS

**TÍTULO DEL TFG:** Digitalización en los aeropuertos. Aeropuerto 4.0.

**TITULACIÓN:** Grado en Ingeniería en Sistemas Aeroespaciales

**AUTOR:** Mario Di Domenico Litrán

**DIRECTOR:** Jordi Pons i Prats

**CODIRECTORA:** Jovana Kuljanin

**FECHA:** 8 de febrero del 2023

## Anexo A. La revolución industrial y sus etapas

Históricamente, la revolución industrial consistió en un gran cambio económico, social e industrial que tuvo lugar en el siglo XVIII en el Reino Unido. Con el paso del tiempo, este cambio se fue extendiendo hacia los demás países. La repercusión actual de este suceso ha sido esencial para la evolución de la industria global.

La revolución industrial ha tenido cuatro etapas. No obstante, en esta parte de la memoria del proyecto solo se profundiza en las primeras tres etapas, puesto que la cuarta etapa ya se desarrolla completamente en el punto 1.1. (Ver [Economipedia])

- **Primera etapa:** se inició en el siglo XVIII y se basa en el uso de la energía de vapor y la mecanización de la producción. La energía de vapor inició a tener propósitos industriales en aquella época a través de las máquinas de vapor. Esta etapa trajo la creación de la locomotora y el barco de vapor.
- **Segunda etapa:** se inició en el siglo XIX y se basa en el uso de la electricidad, la producción en masa y la cadena de montaje. De esta forma, se establecieron los principios de la producción automotriz. Un ejemplo claro de esta etapa era la forma de producir un vehículo: en etapas parciales y transportadas por cintas hacia el ensamblaje. Los beneficios que trajo fue el ahorro de los costes y la velocidad de producción.
- **Tercera etapa:** se inició en los años 1970 y se basa en la automatización parcial usando controles con memoria programable y ordenadores y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Gracias al desarrollo de estas tecnologías, en la actualidad se permite automatizar un proceso de producción en su totalidad. Un ejemplo de ello son los brazos robóticos que ejecutan movimientos programados sin necesidad de la asistencia humana.
- **Cuarta etapa.**



**Figura Anexo A:** Esquema de las etapas de la revolución industrial. (Ver [Economipedia])

## Anexo B. Ampliación sobre gases contaminantes más frecuentes en los aeropuertos.

La contaminación causada por los viajes aéreos es un tema en el que cada vez se pone más énfasis para comprender mejor su impacto y tratar de mitigar sus impactos negativos. Conocer los focos de contaminación en los aeropuertos es fundamental debido a que puede poner en peligro la salud y el bienestar de las personas. Los tipos de gases contaminantes con más frecuencia en el campo de vuelo de los aeropuertos son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), hidrocarburos (HC) y ozono ( $\text{O}_3$ ). Los equipos de GSE y los aeromotores de los aviones son los agentes más contaminantes, sin embargo, las centrales eléctricas y otras infraestructuras análogas al aeropuerto también contribuyen negativamente al medio ambiente. En el caso de las aeronaves, la emisión de gases contaminantes puede predecirse mediante el ciclo LTO. Este se refiere a la determinación de los niveles de contaminación del aire durante las fases de despegue, ascenso, aproximación y rodaje. En la figura Anexo B, a continuación, se muestran los valores de contaminación en función del reglaje del empuje y del tiempo en la modalidad de utilización. (Ver [Estudio de la contaminación del aire en los aeropuertos, PPA-UPC])

<i>Modalidad de utilización LTO</i>	<i>Reglaje del empuje</i>	<i>Fase</i>	<i>Tiempo en la modalidad de utilización (minutos)</i>
Despegue	100% $F_{\infty}$	Despegue	0.7
Ascenso	85% $F_{\infty}$	Ascenso	2.2
Aproximación	30% $F_{\infty}$	Aproximación	4.0
Rodaje/marcha lenta en tierra	7% $F_{\infty}$	Rodaje/marcha lenta en tierra	26.0

**Figura Anexo B.** Ciclo LTO. (Ver [Estudio de la contaminación del aire en los aeropuertos, PPA-UPC])

Teniendo en cuenta la información que proporcionan estas tablas, el rodaje/marcha lenta en tierra es el momento que se sufre un mayor impacto en la sostenibilidad del entorno.

## Anexo C. Entrevista con Simon Prent

Simon Prent fué un trabajador del Royal Group Schipol desde 2015 hasta 2021, grupo gestor del aeropuerto de Ámsterdam Schiphol. El señor Prent ocupaba el cargo de Project Leader del proyecto “Sustainable Taxiing” y formaba parte del equipo de innovación en el proyecto “Autonomous Airside Operations”.

La reunión tuvo lugar el jueves día 15 de diciembre de 2022 a las 16:30 a través de la plataforma Google Meet. Los asistentes en esta reunión son: el señor Simon Prent, el director de este proyecto Jordi Pons y yo.

La conversación, entre los presentes, se desarrolló en lengua inglesa, sin embargo, el diálogo-resumen siguiente ha sido traducido al castellano puesto que es el idioma del proyecto.

**Mario:** *He visto que ha trabajado en la innovación del programa de operaciones autónomas en el lado aire y en el proyecto de rodaje sostenible, por lo que he centrado mis preguntas en estos temas. También he visto que usted dirigió el proyecto de rodaje sostenible. Entonces, ¿Cuáles fueron sus tareas en esta área y en el programa de operaciones autónomas en el lado aire?*

**Simon:** Nosotros nos centramos en la materia de rodaje sostenible y desde allí hacíamos de todo junto con mi compañero Dirk Bresser, éramos responsables de todo incluso de temas operacionales. Era divertido.

**Mario:** *He leído que el proyecto de rodaje sostenible es parte de un programa del Grupo Schiphol llamado operaciones autónomas en el lado aire donde se pretende que todos los vehículos y procesos asociados en el lado aire sean ambos sostenibles y autónomos en 2050. Entonces, ¿cuáles son las nuevas tecnologías que están siendo desarrolladas en este programa?*

**Simon:** Actualmente hay dos desarrollos de tecnologías que algunas veces se combinan entre ellos. Por un lado, tenemos las tecnologías que tienen que ver con la sostenibilidad, donde se contemplan vehículos motorizados eléctricamente principalmente. Por lo que en este ámbito trataríamos con sistemas propulsados eléctricamente. Por otro lado, tenemos el control de estos vehículos que se centra en proporcionar automatismo. Al combinar ambas cosas se obtiene una solución interesante desde el punto de vista de interés de un aeropuerto. Alguna de las tecnologías de ejemplo con las que se trabaja son los tractores portaequipajes autónomos, buses autónomos, quitanieves autónomas, TaxiBot. Resumidamente, el proyecto del que me encargaba se basaba en movimientos autónomos de la aeronave en tierra. Para poder llegar a crear este tipo de tecnologías, la parte de automatización era la que resultaba más compleja puesto que todo estaba por desarrollarse aún. A todo esto, el grupo Schiphol no es el que se encarga de desarrollar

estas tecnologías, sino que las impulsa y las apoya en colaboración a otras compañías.

**Mario:** *Siento mucho interés por la tecnología TaxiBot, respecto a esta, ¿cómo fueron las pruebas y cuáles fueron los procedimientos para probar un buen funcionamiento?*

**Simon:** En relación a TaxiBot, esta es una tecnología operada por la acción humana. Sin embargo, existen dos modos, el modo conductor y el modo piloto. El modo conductor se ejecuta por un operario dentro del TaxiBot y se usa en procedimientos de pushback. Sin embargo, el modo piloto transfiere el control, de la totalidad del convoy, desde el conductor del TaxiBot hacia el piloto de la aeronave. Por lo que el piloto es el que conduce la aeronave. Pero el movimiento hacia adelante que se produce es gracias al TaxiBot. En este punto el piloto se encarga de dar dirección y de frenar. En cuanto a las pruebas, solo se probó la parte de sostenibilidad y operación. A raíz de eso se redactó un informe con 32 recomendaciones con asuntos que necesitaban cambiarse para que el TaxiBot funcione en términos de escalabilidad. Uno de los 32 desafíos que se trataron fue la escasez de personas cualificadas para manejar y realizar las tareas del TaxiBot. Básicamente, 31 de los 32 asuntos a tratar, se solucionaban dotando al TaxiBot de autonomía.

En las pruebas de TaxiBot se trató también la velocidad máxima, como se comportaba el vehículo ante la lluvia, en la oscuridad y los posibles errores del piloto. También se pretendió que otros aeropuertos puedan tener acceso a TaxiBot para ver cómo se desarrolla en otros entornos, de echo actualmente se está probando en Paris.

**Mario:** *¿Qué tipo de cambios deben producirse en la infraestructura del lado aire para permitir al TaxiBot moverse de manera autónoma por los carriles de rodaje?*

**Simon:** En caso de implementar autonomía en el TaxiBot, se tendría que tomar una decisión de si se quiere que el vehículo se mueva en el sistema de calles de rodaje o al lado del sistema de calles de rodaje. El País Bajo es un lugar muy denso en población y pequeño, así que Schiphol es lo mismo. Por lo que hay algunas carreteras en el lado aire que tienen una anchura de 4.5 m máximo 5 m de ancho. Sin embargo, el TaxiBot hace 5.1 m de ancho con lo cual es una complicación. Sin embargo, en el aeropuerto de Delhi, donde TaxiBot está presente, tienen carreteras anchas. Este suceso fue un problema para poder usar el TaxiBot al lado de la calle de rodaje. Por lo que finalmente se optó por usar la calle de rodaje como medio de movimiento del TaxiBot para que puedan operar con seguridad y eficiencia.

Esto dio pie a que todos los vehículos autónomos del proyecto se muevan por las calles de rodaje. Por lo que, básicamente no se necesita de infraestructura adicional.

**Jordi:** *Para el equipamiento electrónico como sensores y demás. ¿Están todos incorporados en el TaxiBot o debes de instalar algo alrededor del taxiway para proveer posicionamiento u otros datos?*

**Simon:** Este punto no se desarrolló en el proyecto ya que el TaxiBot iba a ser controlado acción humana. El proyecto de TaxiBot se enfocó más en la parte de sostenibilidad a pesar de que era interesante profundizar en la automatización del vehículo. Sin embargo, por mi trabajo actual (jefe de operaciones de drones para asistencia médica aérea) he podido saber que no hubiera sido complicado debido a los sensores propios del aeropuerto. De hecho, en el puerto de Rotterdam existen los contenedores AGV automatizados que simplemente siguen una línea. Así que no sería muy complicado hacer lo mismo en un aeropuerto, donde la dinámica del entorno puede ser parecida. Estos contenedores tienen un radar para la detección de obstáculos. De hecho, esta era una idea nuestra para TaxiBot, un radar, quizá una cámara en dos lados y ya. Así si hay un obstáculo, el vehículo simplemente se para y el operador que va a bordo del TaxiBot ya decide como proceder. En resumidas cuentas, no era difícil proveer al TaxiBot de autonomía, lo realmente complejo es la necesidad de acelerar, frenar y virar por sí mismo. Si el TaxiBot estaba acoplado a la rueda delantera de la aeronave realizar frenazos y aceleraciones iba provocar que el tren delantero soportase mucha carga y eventualmente terminase rompiendo. Por lo tanto, el piloto es el que debe de frenar con los propios frenos de la aeronave y el TaxiBot no puede ser completamente autónomo. Otro desafío de los vehículos autónomos, que resulta interesante, no es desde el punto de vista tecnológico, sino de buscar quien es el responsable de un vehículo que se mueve de manera autónoma por el lado aire. Por ejemplo, imaginaos que uno de estos vehículos cruza la pista y justamente viene una aeronave. Ocurriría un desastre. ¿Quién sería el responsable de este accidente? Pues teóricamente sería el piloto de la aeronave, pero los pilotos nunca estarían de acuerdo con eso.

**Mario:** *Es evidente que la implementación del TaxiBot proporciona enormes beneficios contra el impacto ambiental. Pero, ¿tiene también beneficios en términos de capacidad aeroportuaria?*

**Simon:** Si tú tienes un TaxiBot y mantienes el uso de la misma forma que en la actualidad, la capacidad del aeropuerto se vería reducida en un 50%. Hicimos cálculos y vimos que implementando el TaxiBot solo podríamos gestionar 250000 vuelos al año, la mayoría con retrasos, de los 500000 que es capaz de gestionar. Sin embargo, también hicimos cálculos y estimaciones acerca de la capacidad si TaxiBot fuera completamente autónomo. Y las diferencias son enormes: la capacidad en la calle de rodaje, la cual está ahora limitada por la cantidad de controladores de tierra en tu aeropuerto, estaría ahora limitada por la tecnología del espacio físico. El mayor problema de todos los aeropuertos del mundo es el controlador de tierra, por lo que nuestra idea era que el sistema controlase las calles de rodaje. Para que os hagáis una idea, un controlador de tierra en Schiphol puede controlar entre 17 y 18 aeronaves al mismo tiempo. Y hay tres de estos controladores a cualquier hora. Así que podemos manejar 54 aeronaves a la vez. Pero cuando tenemos más de 54 aeronaves en la superficie del aeropuerto, entonces estamos a tope de capacidad, y esto ocurre mucho en Schiphol y en muchos aeropuertos del mundo. Por lo que el gran cuello de botella en el aeropuerto era el sistema de la calle de rodaje puesto que solo se pueden manejar 54 aeronaves. Entonces se tiene que mantener a las aeronaves en su puerta de embarque hasta el

sistema de calle de rodaje esté disponible. Esto congestiona también las puertas de embarque. En resumen, todo resultaba en grandes retrasos para todo el mundo. Entonces si te deshaces de este cuello de botella, que es lo que se hace si se automatiza el TaxiBot y todos los movimientos en tierra, ya no dependeríamos de personas que proporcionan una capacidad de 18 aeronaves. Estaríamos dependiendo de un ordenador que puede guiar un número infinito de aeronaves y esto permite aumentar la capacidad enormemente. De esta forma, próximamente podríamos deshacernos de tener aeronaves en las puertas de embarque y de las calles de rodaje. Resumidamente, podemos afirmar que si se hace bien, se puede incrementar muchísimo la capacidad del aeropuerto mediante la automatización. Pero también hay un montón de factores a tener en cuenta que lo hacen todo todavía más complicado.

**Mario:** *Ya como última pregunta, ¿conoces si hay otros sistemas para conseguir un rodaje sostenible?*

**Simon:** Sí, hay dos tipos de sistemas en términos de propulsión. Uno basado en equipamiento aeroportuario y otro en un componente de la aeronave. Se puede implementar un motor eléctrico en la aeronave o puedes enganchar la aeronave a un motor eléctrico con lo cual ahí tienes la ventaja de no aumentar el peso de la aeronave, concretamente 150 kg. De hecho, desde hace un tiempo, se está intentando de crear este motor eléctrico en las aeronaves que sería posicionado en el tren de aterrizaje delantero. Esto haría los desplazamientos de las aeronaves más eficientes. Airbus y Safran están trabajando en ello para implementarlo en las aeronaves más nuevas de Airbus.

## Anexo D. Introducción a los conceptos de HI-MACS, PCAP y SiteKiosk.

**HI-MACS:** consiste en material de superficie sólida con la capacidad de moldearse para adoptar cualquier forma. Sus principales aplicaciones son en encimeras y fachadas. Este material está compuesto por una delicada formulación de acrílico, minerales y pigmentos naturales que se combinan para crear una superficie suave al tacto, no porosa, termoformable y sin uniones visibles. (Ver [HIMACS])

**PCAP:** consiste en una interfaz de programación de aplicaciones que captura datos de paquetes de red en vivo. PCAP es un recurso valioso para el análisis de archivos y para monitorear el tráfico de la red. Hay muchas razones por las que se usa PCAP para monitorear redes. Algunos de los más comunes incluyen monitorear el uso del ancho de banda, identificar servidores DHCP (del inglés, "*Dynamic Host Configuration Protocol*") deshonestos, detectar malware y resolución de DNS (del inglés, "*Domain Name System*"). (Ver [Linkedin])

**SiteKiosk:** consiste en un servicio de Prestop y se emplea cuando se requiere de un software de terminal o de señalización digital. (Ver [Capterra])

## Anexo E. Datos y proyectos tipo “Aeropuerto 4.0” de Aeroports de Catalunya (Lleida-Alguaire y Andorra-la Seu d’Urgell)

Aeroports de Catalunya es un grupo gestor aeroportuario de carácter público, al igual que Aena. Sin embargo, este es propiedad de la Generalitat de Catalunya. Aeroports de Catalunya se encarga de gestionar y dirigir los aeropuertos de Lleida-Alguaire y Andorra-la Seu d’Urgell. Además, recientemente ha tomado el control del aeródromo de la Cerdanya.

En cuanto a la cantidad de pasajeros que han frecuentado estos aeropuertos, se tienen en cuenta los datos más recientes, debido a la variación que suelen tener estos aeropuertos más pequeños en su actividad. En el caso de Lleida se tuvo un total de 47326 pasajeros en 2021. Sin embargo, en La Seu se tuvo 5145 pasajeros, en el mismo año. No obstante, cabe destacar que se espera que este último aeropuerto haya aumentado considerablemente su ocupación. Esto es debido a la alta demanda que ha recibido con los vuelos a Madrid proporcionados por Iberia Regional Air Nostrum desde diciembre de 2021.

En cuanto a infraestructura, ambos aeropuertos cuentan con una pista y un edificio terminal de dimensiones reducidas. Cabe destacar que la longitud de la pista de Andorra-la Seu es significativamente más corta que la de Lleida. (Ver [aeroports.gencat])

En relación a las medidas que ha tomado Aeroports de Catalunya para transformar digitalmente sus aeropuertos, se han desarrollado principalmente dos proyectos: (ver [aeroports.gencat])

- **Proyecto de digitalización del transporte aéreo y gestión de flujos:** tiene como objetivo obtener conocimiento sobre el comportamiento de los pasajeros internacionales en los aeropuertos una vez llegados a su destino. Mediante sistemas avanzados de inteligencia artificial y big data, se permite obtener datos anónimos sobre la trazabilidad de los pasajeros. Además, gracias a la IA, se permite la optimizar la planificación de la movilidad asociada a los aeropuertos, márketing aeroportuario y mejoras en el conocimiento de la gestión aeroportuaria.
- **Certificación y prueba de drones en el aeropuerto de Lleida-Alguaire:** Aeroports de Catalunya, Applus+ y el Centre Avançat de Tecnologies Aeroespaciales (CATEC) colaboran conjuntamente en el establecimiento de una plataforma de desarrollo y certificación de drones en el aeropuerto leridano. Las tres entidades apuestan por la relevancia de los RPAS en el mundo aeronáutico por su contribución con una aviación sostenible, segura y silenciosa.

## Anexo F. Ficha de especificaciones técnicas del dron AeroHyb

### Especificaciones técnicas del Dron Híbrido de Aerocamaras

En la siguiente tabla puedes comprobar las características del Dron Híbrido de Aerocamaras. Todas ellas están garantizadas por un grupo de pilotos experimentados de Aerocamaras que han trabajado en su puesta a punto.

MTOW	19,00 KG
PESO VACÍO	10,50 KG
CARGA MÁXIMA	5,00 KG
CAPACIDAD DEL DEPÓSITO	5L / 10L
TIEMPO DE VUELO (CON CARGA MÁXIMA)	2 HORAS
TIEMPO DE VUELO (SIN CARGA)	7 HORAS
VELOCIDAD MÁXIMA	54 KM/H
TAMAÑO DESPLEGADO	2250*2220*335 MM
TAMAÑO PLEGADO	810*760*310 MM
RANGO DE TEMPERATURA	DE -20°C A 40°C
VIENTO MÁXIMO	15 M/S

## Anexo G. Ficha de especificaciones técnicas del Hovermap de Emesent



### MAPPING SPECIFICATIONS

<b>SLAM mapping</b>	Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) based LIDAR mapping +/- 0.03% drift
<b>LIDAR range</b>	0.40 m to 100 m
<b>LIDAR accuracy</b>	+/- 30 mm
<b>Mapping accuracy</b>	+/- 20 mm in general environments +/- 15 mm in typical underground and indoor environments +/- 5 mm for close range scanning
<b>Angular field of view</b>	360° x 360°
<b>LIDAR data acquisition speed</b>	Single Return Mode: up to 300.000 points/sec Dual Return Mode: up to 600.000 points/sec
<b>Maximum data capture traveling speed</b>	Vehicle: 40 km/h; flight: 5 m/s above ground, 2 m/s underground or confined spaces
<b>Start / stop scanning while walking or hovering</b>	Yes
<b>Outputs</b>	Full resolution point cloud, decimated point cloud, trajectory file
<b>Point cloud file format</b>	.las, .laz, .ply, .dxf
<b>Point cloud attributes</b>	Intensity, range, time, return number (strongest & last) and ring number
<b>Processing parameters</b>	Pre-set profiles with 20+ adjustable parameters
<b>USB3</b>	High-speed data offload
<b>Storage</b>	480 Gigabytes – approximately 12 hours of sensor data
<b>Operating temperature</b>	0-50 °C

### PHYSICAL SPECIFICATIONS

<b>Weight</b>	1.8 kg
<b>Input voltage</b>	12 - 50V, powered from a battery or auxiliary power input
<b>Deployment</b>	Drone/UAV, backpack, vehicle, tether, ground robot
<b>Supported drones</b>	DJI M210, DJI M300, Acecore Zoe
<b>Quick release mount</b>	Yes

### AUTONOMY SPECIFICATIONS

<b>Flight modes</b>	Pilot Assist: Non-GPS flight, position hold and assisted flight, collision avoidance, regulated flight speed. Autonomous Waypoint Mode: Autonomous navigation to waypoints
<b>AL2 waypoint types</b>	2D, 3D, planar, height
<b>AL2 navigation modes</b>	Guided exploration, local and global path planning
<b>Autopilot compatibility</b>	DJI, ArduPilot (Acecore Zoe)
<b>Omnidirectional collision avoidance</b>	360° x 360°, range 1.2 to 40 m; size of an obstacle > 2 mm wire

INCLUDED ACCESSORIES	OPTIONAL ACCESSORIES
Handle	Colorization kit (hardware and software)
Universal carbon fiber mounting plate with appropriate drone mount	Vehicle mounts
	Protective cage
	Hard case backpack

## Anexo H. Ficha de especificaciones técnicas del dron Mavic 2 de DJI

### Mavic 2 Zoom y Mavic 2 Pro

#### Cámara Mavic 2 Pro

Sensor	1" CMOS Píxeles efectivos: 20 millones
Objetivo	FOV: 77° Formato equivalente a 35 mm: 28 mm Apertura: f/2.8 - f/11 Distancia de enfoque: 1 m a ∞
Rango ISO	Vídeo: 100 - 6400 (automático) Foto: 100 - 3200 (auto) 100 - 12 800 (manual)
Velocidad de obturación	Obturador electrónico: 8 - 1/8000 s
Tamaño de fotografía	5472×3648
Modos de fotografía	Disparo único Disparo en ráfaga: 3/5 fotogramas Exposición automática en horquillado (AEB), 3/5 horquillas de exposición a 0.7 EV bias Intervalo: (JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60sRAW:5/7/10/15/20/30/60s)
Resolución de vídeo	4K: 3840×2160 24/25/30p 2.7K: 2688×1512 24/25/30/48/50/60p FHD: 1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p
Tasa de bits máx. de almacenamiento de vídeo	100 Mbps
Modo de color	Dlog-M (10 bits), permite vídeo en HDR (HLG 10 bits)
Sistemas de archivo compatibles	FAT32 (≤ 32 GB) exFAT (> 32 GB)
Formatos de fotografía	JPEG / DNG (RAW)
Formatos de vídeo	MP4 / MOV (MPEG-4 AVC/H.264, HEVC/H.265)

## Aeronaves

Peso de despegue	907 g (Mavic 2 Pro)905 g (Mavic 2 Zoom)
Dimensiones	Plegado: 214×91×84 mm (largo × ancho × alto) Deplegado: 322×242×84 mm (largo × ancho × alto)
Distancia diagonal	354 mm
Velocidad máx. en ascenso	5 m/s (modo S) 4 m/s (modo P)
Velocidad máx. en descenso	3 m/s (modo S) 3 m/s (modo P)
Velocidad máxima (cerca del nivel del mar, sin viento)	72 km/h (modo S)
Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	6000 m
Tiempo máx. de vuelo (sin viento)	31 minutos (a una velocidad constante de 25 km/h)
Tiempo máx. en vuelo estacionario (sin viento)	29 minutos
Distancia máx. de vuelo (sin viento)	18 km (a una velocidad constante de 50 km/h)
Resistencia al viento máx.	29 - 38 km/h
Ángulo de inclinación máx.	35° (Modo S, con control remoto) 25° (Modo P)
Velocidad angular máx.	200°/s
Rango de temperatura de funcionamiento	-10 °C - 40 °C
Frecuencia de funcionamiento	2.400 - 2.483 GHz 5.725 - 5.825 GHz

Transmisión de potencia (PIRE)	2.400 - 2.483 GHz: FCC: ≤26 dBm CE: ≤20 dBm 5.725 - 5.850 GHz: FCC: ≤26 dBm CE: ≤14 dBm
GNSS	GPS + GLONASS
Rango de precisión en vuelo estacionario	Vertical: ±0.1 m (con posicionamiento visual) ±0.5 m (con posicionamiento por GPS)  Horizontal: ±0.3 m (con posicionamiento visual) ±1.5 m ((con posicionamiento por GPS)
Almacenamiento interno	8 GB

## Sistema de detección

Sistema de detección	Detección de obstáculos omnidireccional <sup>1</sup>
Frontal	Alcance de la medición con precisión: 0.5 - 20 m Alcance de detección: 20 - 40 m Velocidad de detección efectiva: ≤ 14 m/s Campo de visión (FOV): Horizontal: 40°, Vertical: 70°
Trasero	Alcance de la medición con precisión: 0.5 - 16 m Alcance de detección: 16 - 32 m Velocidad de detección efectiva: ≤12 m/s Campo de visión (FOV): Horizontal: 60°, Vertical: 77°
Superior	Alcance de la medición con precisión: 0.1 a 8 m
Inferior	Alcance de la medición con precisión: 0.5 a 11 m Rango de detección: 11 a 22 m
Lateral	Alcance de la medición con precisión: 0.5 a 10 m Velocidad de detección efectiva: ≤ 8 m/s FOV: Horizontal: 80°; Vertical: 65°

## Entorno operativo

Frontal, trasera y lateral:  
 Superficie con un patrón definido y una iluminación adecuada (lux > 15)  
 Superior:  
 Detecta superficies reflectantes difusas (>20%) (paredes, árboles, personas...)  
 Inferior:  
 Superficie con un patrón definido y una iluminación adecuada (lux > 15)  
 Detecta superficies reflectantes difusas (>20%) (paredes, árboles, personas...)

## Cargador

Entrada	100-240 V, 50/60 Hz, 1.8A
Salida	Principal: 17.6 V = 3.41 A or 17.0 V = 3.53 A USB: 5 V=2 A
Voltaje	17.6 ± 0.1 V
Potencia nominal	60 W

## Aplicación

Sistema de transmisión de vídeo	OcuSync 2.0
Nombre	DJI GO 4
Calidad de la retransmisión en directo	Control remoto: 720p a 30 fps / 1080p a 30 fps DJI Goggles: 720p a 30 fps / 1080p a 30 fps DJI Goggles RE: 720 a 30 fps / 1080p a 30 fps

Latencia (dependiendo de las condiciones del entorno y del dispositivo móvil)	120 - 130 ms
Bitrate máx. de video en directo	12 Mbps

## Notas de pie de página

### Notas de pie de página

[1] La detección de obstáculos omnidireccional engloba la detección de obstáculos delantera, trasera, superior, inferior, izquierda y derecha. La detección izquierda y derecha sólo están disponibles con ActiveTrack y modo Trípode. La detección de obstáculos omnidireccional no cubre toda la circunferencia alrededor del dron. La detección de obstáculos lateral solo funciona en modos y entornos específicos. La garantía de DJI no cubre pérdidas causadas por chocar al volar lateralmente, incluso si ActiveTrack o el modo Trípode están activados. Por favor, para garantizar la seguridad de tu vuelo permanece siempre alerta y atento a tu entorno y a las notificaciones de la aplicación al pilotar un Mavic 2.

Estas especificaciones se han obtenido en pruebas realizadas con el firmware más reciente. Las actualizaciones de firmware pueden mejorar el rendimiento, por lo que se recomienda encarecidamente mantener el firmware actualizado.

Los términos HDMI, HDMI High-Definition Multimedia Interface (Interfaz multimedia de alta definición), HDMI Trade Dress (diseño e imagen comercial HDMI) y los logotipos HDMI son marcas comerciales o marcas registradas de HDMI Licensing Administrator, Inc.



## Anexo I. Ficha de especificaciones técnicas de los modelos LS-S1 de LSLIDAR

		LS128S1	LS256S1
<b>Laser</b>	Wavelength	1550nm	1550nm
	Laser Class	Class I (IEC-60825)	Class I (IEC-60825)
<b>SPEC</b>	Channels	128	256
	Detection Method	TOF	TOF
	Detection Range	250m@10% (Max 500m)	250m@10% (Max 500m)
	Range Accuracy	±3cm	±3cm
<b>FOV</b>	Horizontal	120°	120°
	Vertical	25° (-12.5°~12.5°)	25° (-12.5°~12.5°)
<b>Angular Resolution</b>	Horizontal	0.09°	0.09°
	Vertical	0.2°	0.1°
	FPS	10Hz	10Hz
<b>Point</b>	Echo Times	1~2	1~2
<b>Cloud</b>	Data Point Generating Rate (pts/sec)	1,600,000	3,200,000
<b>Export</b>	Communication Interface	Automotive Ethernet	Automotive Ethernet
	Time Synchronization	gPTP	gPTP
<b>Electric</b>	Input Voltage	9V~36V DC	9V~36V DC
	Power Consumption	40W	40W
<b>Environment</b>	Anti-interference	Laser Code	Laser Code
	AUTOSAR	Support (A) / Not support (I)	Support (A) / Not support (I)
	IP Grade	IP6K9K	IP6K9K
	Operating Temperature	-45°C~85°C	-45°C~85°C
	Vibration Test	5Hz-2000Hz, 3G rms	5Hz-2000Hz, 3G rms
	Shock Test	500m/sec <sup>2</sup> , Lasting for 11ms	500m/sec <sup>2</sup> , Lasting for 11ms
<b>Machine</b>	Weight	1.5kg	1.5kg
	Dimensions (LxWxH)	220x220x45 mm	220x220x45 mm

## Anexo J. Ficha de especificaciones técnicas de los sensores de Xovis

### TECHNICAL DATA

Working principle:	3D stereo vision distance measurement
Installation angle:	+/-15° in x-axis +/- 5° in y-axis
Operation temperature:	0°... 45 °C
With outdoor housing:	-25°... 40 °C
Storage temperature:	-20°... 70 °C
Air humidity:	20 ... 80 %
IP protection:	IP40 / IP65 (outdoor)
Connection:	RJ45 Ethernet, cat.5e
Power supply:	PoE Class 0 (IEEE 802.3af)
Power consumption:	< 5W
Required illumination:	2 lux / 9 lux (outdoor)
Size (LxWxH):	PC2R / PC2S: 13.0 x 9.4 x 3.0 cm PC3: 33.0 x 6.1 x 4.0 cm PC3-0: 38.5 x 9.0 x 8.6 cm PC4: 57.5 x 7.2 x 4.0 cm
Weight:	PC2R / PC2S: 250 g PC3: 600 g / PC3-0: 1700 g PC4: 1245 g
Mounting height:	PC2R / PC2S: up to 6 m PC3 / PC3-0: up to 20 m PC4: up to 30 m