



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍAS 5G EN
AEROPUERTOS

Autor: Lucía Urbelz López-Puertas

Director: Jaime Pereña Pinedo

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Implantación de tecnologías 5G en aeropuertos en la ETS de Ingeniería - ICAI de la
Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

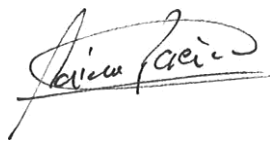
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Lucía Urbelz López-Puertas

Fecha: 15 / 10 / 2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jaime Pereña Pinedo". The signature is stylized with a large initial 'J' and a horizontal line underneath.

Fdo.: Jaime Pereña Pinedo

Fecha: 07 / 01 / 2024



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍAS 5G EN AEROPUERTOS

Autor: Lucía Urbelz López-Puertas

Director: Jaime Pereña Pinedo

Madrid

IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍAS 5G EN AEROPUERTOS

Autor: Urbelz López-Puertas, Lucía.

Director: Pereña Pinedo, Jaime.

Entidad colaboradora: Turing Challenge.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente Trabajo de Fin de Máster explora las posibilidades de la tecnología 5G, combinada con la tecnología de cómputo en el borde, para potenciar la seguridad y eficiencia en aeropuertos mediante el desarrollo de soluciones inteligentes y conectadas. El presente trabajo se centra en la descripción y análisis de la viabilidad económica del proyecto.

En el contexto actual, donde los aeropuertos operan durante las 24 horas, se vuelve crucial la incorporación de tecnologías que no solo garanticen, sino también potencien, su seguridad y operatividad. Este proyecto plantea un Producto Mínimo Viable (MVP) que aborda dos situaciones clave en la seguridad aeroportuaria: protección perimetral y seguridad en las pistas de aterrizaje. El MVP se apoya en la utilización conjunta de la tecnología 5G e Inteligencia Artificial (IA) para monitorear de manera eficiente y rápida las amenazas perimetrales y obstáculos en las pistas, respectivamente. Esta combinación busca mejorar los tiempos de respuesta, la confiabilidad y la prevención de incidencias, optimizando, en consecuencia, las operaciones de seguridad.

El escenario de seguridad perimetral se centra en la protección del límite exterior del aeropuerto para prevenir intrusiones no autorizadas. Para lograrlo, se utiliza la tecnología 5G junto con dispositivos de Inteligencia Artificial (IA). Estos sistemas están diseñados para detectar y evitar que personas o animales ingresen al aeropuerto a través de la valla, ya sea trepando, haciendo agujeros o utilizando escaleras. Se instalan cámaras de seguridad de alta definición que permanecen estáticas pero pueden identificar la presencia de individuos cerca de la valla. Además, se emplean drones que patrullan el área de la valla en busca de cualquier incidente que pueda indicar una posible intrusión. Tanto las cámaras como los drones se conectan de manera inalámbrica a la red 5G para transmitir las detecciones a servidores donde se procesa la información y se envían alertas si es necesario.

Por su parte, la seguridad en la pista se enfoca en la detección automática y periódica de objetos extraños en la pista de aterrizaje que puedan representar un riesgo para la seguridad. La combinación de tecnología 5G e Inteligencia Artificial permite una detección más rápida y reduce la posibilidad de errores humanos. El sistema se basa en cámaras de alta resolución 4K que se instalan en vehículos o drones. Estas cámaras se conectan a la red 5G y envían imágenes de alta calidad a servidores para su procesamiento. Si se identifica algún obstáculo potencialmente peligroso en la pista, se emite una alerta geolocalizada para su eliminación inmediata.

Además, el proyecto se extiende más allá del MVP, explorando otras aplicaciones posibles de esta tecnología en diversas áreas del aeropuerto, tales como la descarga de telemetría de aviones, seguridad en terminales, manejo y control de equipajes, gestión de pasajeros, y optimización de tiendas y comunicaciones internas entre trabajadores.

El proyecto busca lograr varios objetivos esenciales. En primer lugar, se busca el desarrollo de soluciones que prioricen la baja latencia. Esto se logrará mediante la combinación de la tecnología 5G y Azure Private MEC para asegurar comunicaciones rápidas y eficientes, especialmente en situaciones donde la velocidad es crítica.

Además, se pretende implementar soluciones que ofrezcan una mayor cobertura en comparación con tecnologías como el 4G o el Wi-Fi 6. La combinación de 5G y MEC permitirá extender la cobertura a velocidades superiores, garantizando una conectividad sólida en lugares donde otras tecnologías pueden fallar.

Finalmente, se busca la creación de soluciones con la capacidad de detectar una amplia variedad de incidentes. No solo se busca aumentar la velocidad, sino también asegurar que el sistema pueda emitir alertas en diversas situaciones, desde posibles intrusiones de animales hasta la detección de escombros en la pista. Este objetivo se alcanzará mediante la disposición estratégica de sensores y su integración efectiva.

Este trabajo, que como se mencionó anteriormente, se centra en el análisis de la viabilidad económica del proyecto, tiene varios objetivos clave. En primer lugar, se busca comprender y describir la arquitectura empleada en las soluciones de los dos casos de uso en cuestión. Además, se pretende identificar los factores que agregan un valor diferencial al producto, centrándose en la generación de ingresos adicionales, la reducción de costos y el fortalecimiento de la seguridad. Otra meta es llevar a cabo un análisis exhaustivo del

Costo Total de Propiedad (TCO) del Producto Mínimo Viable (MVP), considerando los gastos de adquisición, instalación y mantenimiento a lo largo de un período de 5 años, evaluando diferentes escenarios para determinar el más eficiente en términos de costos. Por último, se tiene la intención de desarrollar un modelo de negocio para el MVP, proporcionando una explicación detallada de los beneficios que se obtendrán al realizar la inversión en la solución propuesta.

El análisis de los beneficios de la implementación de esta tecnología se agrupa en tres pilares básicos: mejora de la seguridad, incremento de la eficiencia operativa y generación de nuevas fuentes de ingresos. A través de una exploración detallada de estos aspectos, se destaca la capacidad de la solución tecnológica propuesta para respaldar estos beneficios, proporcionando una base sólida para la inversión en esta iniciativa.

- El primer pilar, la mejora y aumento de la seguridad, se enfoca en aprovechar las capacidades de las tecnologías 5G y MEC para elevar los niveles de seguridad en los aeropuertos. Algunos de los beneficios esperados incluyen la reducción de la probabilidad de intrusiones de animales y personas en el aeropuerto, la aceleración de la respuesta a eventos críticos, la disminución de la probabilidad de accidentes y daños relacionados con objetos extraños en la pista, mejora en el seguimiento del equipaje y detección de manipulaciones, y el refuerzo de la seguridad en la terminal y detección rápida de incidentes no deseados.
- El segundo pilar tiene como objetivo mejorar la eficiencia en las operaciones aeroportuarias al reducir el tiempo, costos y recursos empleados. Algunas ventajas esperadas son el aumento de la puntualidad y de las operaciones aeroportuarias, incluso en condiciones meteorológicas adversas, optimización de las operaciones y control de personas, y la reducción de costos operativos a través de la automatización y el uso de sistemas 5G basados en drones
- El último pilar se centra en aprovechar las soluciones 5G para impulsar el comercio en los aeropuertos, mejorar su reputación y generar ingresos adicionales. Algunos de los beneficios esperados abarcan el aumento de los ingresos aeronáuticos mediante un sistema de mantenimiento inteligente y rápido, el incremento de los ingresos comerciales con la implementación de escenarios "just walk in", la monetización de la red 5G para comercios, y el fomento de tiendas

minoristas a través de una mejor organización y experiencia de compra, así como la reducción de costos laborales.

El análisis económico ha sido utilizado para evaluar cuatro situaciones diferentes que surgen de combinar dos aspectos: la forma en que se configura la red 5G, que puede ser de tipo ORAN distribuida o todo en uno (AiO), y la manera en que se maneja la computación en el borde, que puede ser con una tercerizada y pesada (3P Heavy Edge) o con HUE.

Para la infraestructura de red, la elección entre AiO y ORAN distribuida depende de la extensión geográfica. AiO se recomienda para lugares con un alcance limitado, mientras que ORAN distribuida es más económica en instalaciones con un perímetro superior a los 45 kilómetros.

En cuanto a la computación en el borde, inicialmente, usar terceros para una computación pesada parece más barato, pero esto cambia si se necesitan cámaras internas. Además, los avances tecnológicos están reduciendo la diferencia económica entre ambas opciones.

El análisis de costes revela que la justificación de implementar infraestructura 5G en un aeropuerto mediano radica en la habilidad de esta tecnología para facilitar múltiples casos de uso adicionales sin incrementar los costos de infraestructura, siendo económicamente más viable al expandir su alcance y aplicaciones en diversos escenarios. Por lo tanto, este proyecto propone una adopción gradual de 5G, junto con soluciones de nube e IA, con el fin de reforzar y enriquecer las operaciones y posición de los aeropuertos.

Palabras clave: 5G; Inteligencia Artificial (IA); cómputo en el borde; seguridad; protección; Producto Mínimo Viable (MVP); impulsores de valor

IMPLEMENTATION OF 5G TECHNOLOGIES AT AIRPORTS

The present Master's Final Project explores the possibilities of 5G technology, combined with edge computing technology, to enhance safety and efficiency in airports through the development of intelligent and connected solutions. The present work focuses on the description and analysis of the economic feasibility of the project.

In the current context, where airports operate 24 hours a day, the incorporation of technologies that not only guarantee but also enhance their security and operability becomes crucial. This project proposes a Minimum Viable Product (MVP) that addresses two key situations in airport security: perimeter protection and safety on landing strips. The MVP relies on the joint use of 5G technology and Artificial Intelligence (AI) to efficiently and quickly monitor perimeter threats and obstacles on the tracks, respectively. This combination seeks to improve response times, reliability, and incident prevention, consequently optimizing security operations.

The perimeter security scenario focuses on protecting the outer boundary of the airport to prevent unauthorized intrusions. To achieve this, 5G technology is used in conjunction with Artificial Intelligence (AI) devices. These systems are designed to detect and prevent individuals or animals from entering the airport through the fence, whether by climbing, making holes, or using ladders. High-definition security cameras are installed that remain static but can identify the presence of individuals near the fence. Additionally, drones are used to patrol the fence area and detect any incidents that may indicate a possible intrusion. Both the cameras and drones are wirelessly connected to the 5G network to transmit detections to servers where the information is processed, and alerts are sent if necessary.

On the other hand, runway security focuses on the automatic and periodic detection of foreign objects on the runway that may pose a security risk. The combination of 5G technology and Artificial Intelligence allows for faster detection and reduces the likelihood of human errors. The system relies on high-resolution 4K cameras installed on vehicles or drones. These cameras are connected to the 5G network and send high-quality images to servers for processing. If a potentially dangerous obstacle is identified on the runway, a geolocated alert is issued for immediate removal.

Moreover, the project goes beyond the MVP, exploring other possible applications of this technology in various airport areas, such as aircraft telemetry downloading, terminal

security, baggage handling and control, passenger management, and optimization of stores and internal communications among workers.

The project aims to achieve several essential objectives. First and foremost, it seeks to develop solutions that prioritize low latency. This will be achieved through the combination of 5G technology and Azure Private MEC to ensure fast and efficient communications, especially in situations where speed is critical.

Furthermore, the project aims to implement solutions that offer greater coverage compared to technologies like 4G or Wi-Fi 6. The combination of 5G and MEC will extend coverage at higher speeds, ensuring robust connectivity in locations where other technologies may falter.

Lastly, the project aims to create solutions with the ability to detect a wide variety of incidents. The goal is not only to increase speed but also to ensure that the system can issue alerts in diverse situations, from potential animal intrusions to the detection of debris on the runway. This objective will be achieved through the strategic placement of sensors and their effective integration.

The present work, as mentioned earlier, focuses on the economic feasibility analysis of the project and has several key objectives. First and foremost, it aims to understand and describe the architecture used in the solutions of the two specific use cases. Furthermore, it seeks to identify the factors that add differential value to the product, with a focus on generating additional revenue, cost reduction, and enhancing security. Another goal is to conduct a comprehensive Total Cost of Ownership (TCO) analysis for the Minimum Viable Product (MVP), taking into account acquisition, installation, and maintenance expenses over a 5-year period, assessing various scenarios to determine the most cost-efficient option. Lastly, there is an intention to develop a business model for the MVP, providing a detailed explanation of the benefits to be gained from investing in the proposed solution.

The cost analysis of implementing this technology is grouped into three basic pillars: security enhancement, operational efficiency increase, and generation of new income sources. Through a detailed exploration of these aspects, the capacity of the proposed technological solution to support these benefits is highlighted, providing a solid basis for investment in this initiative.

- The first pillar, the enhancement and increase in security, focuses on leveraging the capabilities of 5G and MEC technologies to elevate security levels at airports. Some of the expected benefits include reducing the likelihood of animal and human intrusions at the airport, accelerating responses to critical events, lowering the probability of accidents and damages related to foreign objects on the runway, improving baggage tracking and detection of tampering, and strengthening terminal security and rapid detection of unwanted incidents.
- The second pillar aims to enhance operational efficiency at airports by reducing time, costs, and resources. Anticipated advantages include increased punctuality and airport operations, even in adverse weather conditions, optimizing operations and personnel control, and reducing operational costs through automation and the use of 5G-based drone systems.
- The final pillar is centered on harnessing 5G solutions to boost commerce at airports, enhance their reputation, and generate additional revenue. Expected benefits encompass increased aeronautical revenue through a smart and fast maintenance system, higher commercial revenue with the implementation of "just walk-in" scenarios, monetizing the 5G network for businesses, and fostering retail stores through improved organization and shopping experiences, as well as reducing labor costs.

Economic analysis has been employed to assess four different scenarios resulting from the combination of two factors: the configuration of the 5G network, which can be either distributed ORAN or all-in-one (AiO), and how edge computing is handled, which can involve third-party heavy edge computing (3P Heavy Edge) or HUE.

For network infrastructure, the choice between AiO and distributed ORAN depends on the geographical extent. AiO is recommended for locations with limited coverage, while distributed ORAN is more cost-effective for facilities with a perimeter exceeding 45 kilometers.

Regarding edge computing, initially, using third parties for heavy computing may seem cheaper, but this changes if internal cameras are needed. Additionally, technological advancements are reducing the economic gap between both options.

The economic analysis reveals that the justification for implementing 5G infrastructure in a medium-sized airport lies in the ability of this technology to facilitate multiple additional use cases without increasing infrastructure costs, becoming economically more viable as it expands its reach and applications in various scenarios. Therefore, this project proposes a gradual adoption of 5G, along with cloud and AI solutions, in order to strengthen and enrich airport operations and position.

Keywords: 5G; Artificial Intelligence (AI); edge computing; safety; security; Minimum Viable Product (MVP); value drivers

Índice de la memoria

1	<i>Definición del proyecto</i>	5
1.1	Introducción.....	5
1.2	Estado de la cuestión	8
1.2.1	<i>Operadoras</i>	8
1.2.2	<i>Aeropuertos</i>	11
1.3	Motivación y justificación.....	16
1.4	Objetivos del proyecto.....	17
1.5	Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	18
1.6	Metodología de trabajo.....	19
1.7	Recursos a emplear.....	20
2	<i>Tecnologías 5G</i>	21
2.1	Características	23
3	<i>Multi-Access Edge Computing</i>	26
3.1	Ventajas del edge computing	27
3.2	Edge vs. Cloud vs. Fog computing.....	28
3.3	MEC privada vs. MEC pública	30
3.4	5G y MEC	31
4	<i>Proyecto</i>	33
4.1	4.1 Descripción general.....	33
4.1.1	<i>Objetivos y justificación de la tecnología</i>	33
4.1.2	<i>Casos de uso</i>	36
5	<i>Primer caso de uso</i>	40
5.1	Contexto	40
5.2	Descripción.....	41
6	<i>Segundo caso de uso</i>	44
6.1	Contexto	44
6.2	Descripción.....	46
7	<i>Arquitectura</i>	48

7.1	Dispositivos de borde	49
7.2	5G RAN.....	52
7.3	Azure Private 5G Core	55
7.4	Computación en el borde.....	56
7.5	Proceso en la nube.....	58
8	Análisis económico.....	61
8.1	Distribución de costes	62
8.2	Parámetros.....	63
8.3	TCO y asignación de costes	66
8.4	Resultados del análisis económico	67
8.4.1	Coste de la infraestructura de red 5G.....	70
8.4.2	Coste de la computación de borde	72
8.5	Conclusiones del TCO.....	74
9	Conclusiones.....	75
9.1	Impulsores de valor	75
9.1.1	Mejora y aumento de la seguridad.....	75
9.1.2	Optimización de la eficiencia operacional.....	78
9.1.3	Nuevas fuentes de ingresos.....	79
10	Anexos 81	
10.1	Entrevista con el aeropuerto de Frankfurt	81
10.2	Entrevista con el aeropuerto de Heathrow.....	84
11	Bibliografía.....	94

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema 1 del escenario de seguridad perimetral. (Fuente: Elaboración propia de la compañía).....	6
Ilustración 2. Esquema 1 del escenario de seguridad en pista. (Fuente: Elaboración propia de la compañía)	7
Ilustración 3. Cronograma del trabajo. (Fuente: Elaboración propia).....	19
Ilustración 4. Comparativa del 5G con otras tecnologías inalámbricas. (Fuente:[13])	25
Ilustración 5. Comparativa de Cloud vs. Fog. Vs. Edge computing. (Fuente: [18]).....	29
Ilustración 6. Esquema 2 del escenario de seguridad perimetral. (Fuente: Elaboración propia)	42
Ilustración 7. Esquema 2 del escenario de seguridad en pista. (Fuente: Elaboración propia)	46
Ilustración 8. Esquema flujo de datos en la arquitectura. (Fuente: Elaboración propia).....	48
Ilustración 9. Ejemplo simplificado de RAN con DUs y CUs en el mismo servidor. (Fuente: Elaboración propia de la compañía)	53
Ilustración 10. Distribución de antenas en el aeropuerto. (Fuente: Elaboración propia de la compañía)	54
Ilustración 11. Esquema de alto nivel de la arquitectura. (Fuente: Elaboración propia de la empresa).....	60
Ilustración 12. Distribución de costes totales. (Fuente: Elaboración propia de la empresa).....	68
Ilustración 13. Distribución de costes de computación en el borde. (Fuente: Elaboración propia de la empresa).....	69

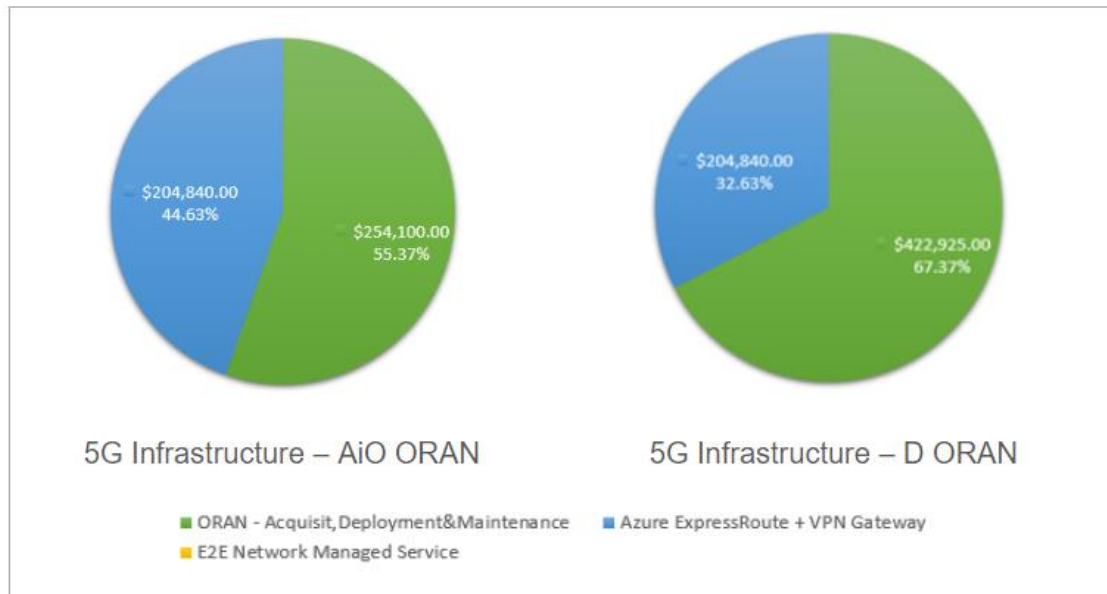


Ilustración 14. Distribución de costes de la infraestructura de red 5G. (Fuente: Elaboración propia de la empresa)..... 70

Ilustración 15. Coste de la infraestructura de red 5G en función de la longitud del perímetro. (Fuente: Elaboración propia de la empresa)..... 72

Ilustración 16. Coste de la computación de borde según el incremento de cámaras 1080p 73

1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

La tecnología 5G se presenta como el futuro hoy en día. Se habla de las múltiples ventajas que ofrece y el valor que puede aportar a la sociedad, no obstante, el número de casos de uso que se han implantado con éxito a nivel empresarial es escaso.

El presente proyecto plantea la posibilidad de combinar esta novedosa tecnología con la nube de Microsoft (Microsoft Azure) para crear un aeropuerto “inteligente”, conectado de extremo a extremo para incrementar la seguridad. El objetivo es lograr un sistema que permita reducir la latencia y evitar el cómputo innecesario para conseguir respuestas más rápidas, mayor fiabilidad ante cambios inesperados y con ello, aeropuertos más seguros.

En un mundo impulsado por las innovaciones tecnológicas, la industria del transporte aéreo no puede quedarse atrás. La introducción de nuevas tecnologías no solo permitirá lograr avances en fiabilidad, automatización y seguridad, sino también a nivel de conectividad y entretenimiento de los consumidores.

Hoy en día, los aeropuertos funcionan 24 horas al día como pequeñas ciudades en las que encontramos tiendas, restaurantes y una amplia gama de servicios. Si bien el transporte aéreo es el más seguro actualmente, no debemos dejar que esto impida continuar incrementando la seguridad al máximo posible. Se trata de aprovechar la innovación para dotar a los aeropuertos de un valor diferencial. Tareas como la limpieza de la pista, el control de equipaje y personas pueden automatizarse reduciendo así el número de personas implicadas y aumentando la fiabilidad en la respuesta ante incidentes.

El proyecto en cuestión busca lograr un MVP (Producto Mínimo Viable) centrado en dos casos de uso en los que se empleará una red privada 5G MEC (*Multi-access Edge Computing*) para lograr un valor añadido en los aeropuertos:

- Seguridad perimetral. Se enfoca en la disminución del número de intrusiones en el aeropuerto. Con este objetivo se combina la tecnología 5G con dispositivos de Inteligencia Artificial (IA) para evitar la entrada en el perímetro de personas

o animales a través de agujeros en la valla, saltando la misma o empleando de escaleras. Se dispondrá de cámaras de seguridad 1080, estáticas, con la función de detectar agentes próximos al perímetro y drones que revisen si hay algún incidente en la valla por los que pueda llevar a una intrusión. Cámaras y drones están conectados de forma inalámbrica a la red 5G para el envío de detecciones a los servidores donde se procesa la información y se envían alertas en caso de que sea necesario.

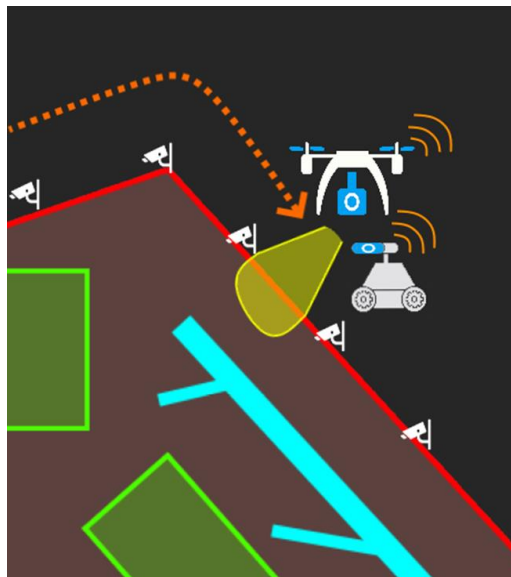


Ilustración 1. Esquema 1 del escenario de seguridad perimetral. (Fuente: Elaboración propia de la compañía)

- Seguridad en la pista. Este escenario se centra en la detección periódica y automática de posibles objetos extraños en la pista de aterrizaje que puedan suponer un peligro. El empleo de 5G e IA permite una mayor rapidez en la tarea de detección y reduce la posibilidad de error debido a fallos humanos. El sistema se compone de cámaras 4K colocadas en vehículos o drones que se conectan a la red 5G enviando imágenes de alta calidad a los servidores que procesan la información. En caso de encontrar algún obstáculo que pueda resultar peligroso se enviará una alerta geolocalizada para que sea retirado.

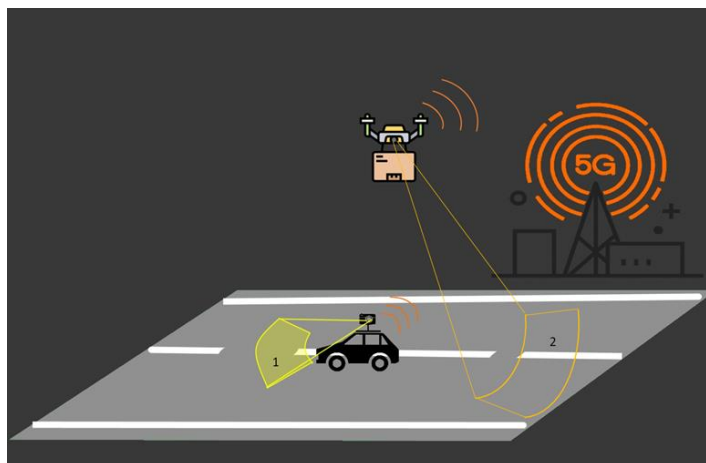


Ilustración 2. Esquema 1 del escenario de seguridad en pista. (Fuente: Elaboración propia de la compañía)

El MVP se enfocará en estos dos escenarios, sin embargo, la escalabilidad del proyecto permite plantear otros casos de usos que emplearán 5G e IA para incrementar la seguridad y el ROI en aeropuertos:

- Descarga de la telemetría de los aviones. Asegurar la rapidez y fiabilidad en la descarga de la telemetría del avión es una cuestión de seguridad clave. La red 5G permite realizar esta tarea en cuestión de segundos o minutos y con ello, evitar retrasos y asegurar mayor agilidad en las demás tareas de control.
- Seguridad en las terminales. Las soluciones 5G+IA permitirán detectar en tiempo real armas y equipaje no supervisado que puede suponer un peligro o indicio de ataque terrorista. Además, se podrán localizar peleas, gritos y gente corriendo para garantizar así el orden y seguridad en la terminal.
- Control de equipajes. Este escenario se centra en el seguimiento inteligente del equipaje y la detección de manipulación ilegal del mismo por parte de los operadores, algo esencial para la reputación del aeropuerto.
- Control de pasajeros. La solución se empleará para detectar aglomeraciones y personas que se saltan la cola para conseguir mayor fluidez en las horas punta, una experiencia más tranquila para los pasajeros y un control más sencillo para los operadores de seguridad.
- Control y optimización de tiendas. Se enfoca en la creación de un sistema de *Business Intelligence* (BI) que permita recopilar de forma automática

información sobre el flujo de personas, a qué tiendas van y cuánto gastan además de proporcionar ayuda para la toma de decisiones basadas en los datos. Esto resulta muy atractivo para los negocios que querrán operar en dicho aeropuerto al contar con la posibilidad de incrementar su visibilidad y ganancias. Además, se propone desarrollar un sistema similar al de Amazon Go, en el que se eliminan las cajas, el personal y las colas para ofrecer al cliente una experiencia de compra más cómoda y agilizar el proceso de venta.

- Push to three. En este caso de uso se emplea la red 5G en combinación con un dispositivo de radio o *walkie-talkie* para mejorar la comunicación de los trabajadores. El push to three hace referencia a un empuje en la comunicación vía texto, vía imagen y vía vídeo.

1.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

Este apartado tiene como objetivo la revisión de soluciones tecnológicas al problema analizado u otros similares.

1.2.1 OPERADORAS

Actualmente las operadoras como Telefónica se enfrentan a varios retos relacionados con la implantación de tecnologías 5G.

- Un ambiente cada vez más concentrado que lleva a la reducción de ingresos y aumento de costes. El creciente número de operadoras supone incrementos de ventas cada vez más planos e impide así el crecimiento de las mismas a nivel de volumen, deben por tanto buscar una propuesta de valor que les permita diferenciarse en el mercado. Las redes 5G son una buena alternativa, pero los consumidores no suelen estar dispuestos a pagar un precio más premium por tener la última generación de tecnología. El caso del 5G es distinto a generaciones anteriores ya que, hace unos años la simplicidad era primordial para los clientes, podían permitirse rechazar un aumento de la conectividad, sin embargo, el aumento de procesamiento y almacenamiento

en la nube, los vídeos de alta definición, la proliferación de las redes sociales y en definitiva la explosión en el número de dispositivos conectados hacen de la conectividad una necesidad primordial que el 5G tiene la flexibilidad para acomodar.

- Además de la creciente competencia se debe recalcar la transición hacia el modelo de plataforma como mercados multilaterales en los que se tiende a relegar a las operadoras de telecomunicaciones al papel de proveedores de acceso a un mercado conformado por sus propias redes mientras que se incrementa el valor de los proveedores de servicios. En este ámbito destaca *Apple*, compañía que ha logrado convencer a los consumidores en que el valor añadido no reside en las redes, sino en el dispositivo. La creación de *App Store* supuso la invención de un mercado global para desarrolladores de aplicaciones y reinventó el modo de acceso a internet gestionado antes exclusivamente por la Web. Unido a la selección de contenidos, el precio único y la oferta global, esta tienda ofrecía a los usuarios la posibilidad de personalizar sus dispositivos, algo que hasta entonces realizaban únicamente las operadoras al poder ofrecer un contacto directo entre los consumidores y desarrolladores de software. Esto obligó a las operadoras a acelerar el ritmo de inversión, aumentar la capacidad de sus redes y fidelizar a los clientes a través de la subvención de los terminales de acceso como el *iPhone*. Con todo ello y el lanzamiento de nuevos productos como el *iPad*, *Apple* logró convertirse en el primer fabricante de dispositivos que supera a las operadoras de redes en la dimensión económica[1]. En definitiva, durante la era del 4G, el sector de las telecomunicaciones construyó la infraestructura que permitió los nuevos negocios digitales y luego desapareció de la cadena de valor, quedando relegado a un segundo plano. El 5G supone una oportunidad para que las empresas de telecomunicaciones se centren en las nuevas experiencias que esta tecnología ofrece, las moneticen y se repositionen como una parte esencial en la cadena de valor en lugar de ser meros proveedores de conectividad[2].
- La capacidad de crecimiento se reduce lo que hace que la implantación de esta tecnología ya haya comenzado en muchas operadoras. El creciente

tráfico de datos móviles hace que las operadoras se acaben quedando sin capacidad y que necesiten adquirir espectro y desplegar 5G en toda su área de influencia[2]. A pesar de la inversión realizada, la monetización de estas redes no está muy clara todavía. El fracaso de estas podría poner en compromiso el despliegue de las posibles siguientes generaciones como el 6G o 7G.

- Los tres valores de las operadoras se ven comprometidos con las nuevas tendencias tecnológicas. Estos son la licencia que les proporciona valor y unicidad, la red que monetizan y el *know-how* o propiedad intelectual para la gestión de las anteriores.
 - El 5G conlleva la otorgación por parte del Estado de las licencias directamente a las empresas. Esto supone una amenaza para las operadoras que podrían quedarse sin negocio al reducirse la necesidad de intermediarios. No obstante, es a su vez una oportunidad ya que, las operadoras cuentan con los conocimientos requeridos para la instalación de la estructura, de modo que podrían ofrecer este tipo de servicios a las empresas.
 - La aparición de la nube compromete la infraestructura al ofrecer una gestión más eficaz de la red. Desaparece toda la estructura que conecta una antena de telecomunicación a otra pues la información se envía de una antena a la nube y de esta a la siguiente antena. Sin embargo, a pesar de conocer las ventajas y el ahorro económico que esto supone, ninguna operadora se atreve a dar el salto por desconocimiento del nivel de diferenciación que este cambio puede ayudar a lograr y cómo puede afectar a los consumidores.

Las operadoras ya han iniciado la transición hacia el 5G que será la solución a los actuales retos a los que se enfrentan. Además, para una mayor diferenciación deben asegurar la rapidez en el despliegue de producto. Al tratarse de ofertas innovadoras, el mercado favorecerá a aquellas operadoras que se comporten como *start-ups*, aquellas que introduzcan productos mínimos viables que pueden ser mejorados continuamente, en lugar de esperar a salir al mercado con un producto pulido[2].

1.2.2 AEROPUERTOS

En lo que respecta al sector aeroportuario, se trata de un ecosistema compuesto por diferentes partes interesadas en el que las operaciones y la experiencia de los clientes se ven especialmente afectadas por las tendencias sociales e impactos económicos. Es un sector que crece haciendo frente a cambios constantes.

Los principales factores externos que afectan al modelo de negocio incluyen acontecimientos perturbadores como las condiciones meteorológicas extremas o las pandemias como el COVID 19, además de factores políticos, económicos y regulatorios. Todos ellos tienen influencia sobre la oferta de aviones, la demanda de pasajeros y de carga y los patrones de consumo de los pasajeros en los aeropuertos.

El crecimiento económico es un factor determinante en el fomento de la demanda de viajes aéreos. Además, la prosperidad económica en su conjunto es un requisito necesario para promover los viajes privados de negocios. Los tipos de cambio, las políticas de tipo de interés y el comercio internacional de divisas influyen en el atractivo de los destinos turísticos, los flujos de viaje y en el comportamiento de los pasajeros a la hora de reservar o realizar compras. El aumento en las tasas de inflación a nivel global como resultado de la subida de precios de la energía y los cuellos de botella de la oferta y el exceso de demanda reducen el poder adquisitivo lo que se traduce en una disminución de la demanda del transporte aéreo pues los precios del mismo se incrementan. Cabe destacar que la escasa capacidad el transporte marítimo pueda hacer que el transporte de mercancías vía aérea se vea beneficiado en este sentido. Por otra parte, la subida de los tipos de interés de los bancos centrales para combatir la inflación puede amortiguar la demanda.

Otro factor a tener en cuenta en la industria aeroportuaria son las fluctuaciones en el precio de las materias primas como el crudo. El aumento de precio suele traducirse en la subida del precio de los billetes y con ello la disminución de la demanda. Esto es especialmente perjudicial en el caso de las aerolíneas financieramente más débiles que deben mejorar su oferta en un mercado muy competitivo.

Las diferentes políticas también afectan al negocio a nivel nacional e internacional. Restricciones como las medidas antirruído o la limitación de vuelos nocturnos determinan el número de pasajeros y volumen de carga. Especial importancia tienen las medidas de

política medioambiental que condicionan en gran medida las operaciones de los aeropuertos. Por su parte, la posible liberación de los derechos de tráfico aéreo que puede dar lugar a la ampliación y apertura a nuevos mercados para el tráfico aéreo o por el contrario, cerrarlos cuando se trata de sanciones o determinados acuerdos.

Finalmente, la aparición de ciertos acontecimientos cuya ocurrencia no puede predecirse como ataques terroristas, huelgas, situaciones meteorológicas adversas o pandemias tienen un efecto masivo en la demanda de vuelos.

La pandemia del COVID-19 hizo que la demanda cayera hasta límites históricos. El exceso de capacidad resultante de la disminución de la demanda incrementó ya intensa competencia y la presión de los altos costes y precios. No obstante, previo a este suceso los aeropuertos ya hacían frente a crecientes presiones para innovar, agilizar operaciones y dar respuesta a la demanda de mayor comodidad por parte de los pasajeros. Además de las peticiones de los consumidores, el sector hace frente a complejos modelos de negocio. Esto se debe a la cantidad de partes interesadas ante las que deben responder los aeropuertos pues si bien son organizaciones de servicio público esencialmente limitadas por los requisitos de empleo de los funcionarios, la mayor parte de ellos no se financia con el dinero de los contribuyentes, sino con ingresos vinculados a sus arrendatarios como el estado, la ciudad o autoridades gubernamentales entre otros. Es esencial que los aeropuertos puedan responder de forma rápida a las distintas necesidades y tengan capacidad para adaptarse al continuo cambio al que se ve sometido el sector[3].

La concienciación en la industria aeroportuaria por la seguridad ha llevado a la toma de distintas medidas y a la investigación para lograr soluciones óptimas en este ámbito. La Unión Europea establece que los aeropuertos deben tener un sistema de vigilancia 24 horas para evitar problemas relacionados con intrusiones, armas o drogas entre otros. Las innovaciones tecnológicas tienen un papel fundamental aquí pues permiten optimizar estos sistemas, salvando ineficiencias y logrando la mayor seguridad posible.

Algunos aeropuertos ya han realizado avances en esta cuestión. En concreto, de acuerdo con lo afirmado en una entrevista con Leonard Scheepsma, *Senior Solution Specialist* en el aeropuerto de Frankfurt, el Aeropuerto de Colonia/Bonn, está desarrollando un sistema de vigilancia basado en un robot que recorre el perímetro de 25 kilómetros del

aeropuerto en busca de posibles peligros. Este robot cuenta con una cámara 4K y recorre rutas discontinuas de 2 kilómetros cerca de la valla. En caso de detectar alguna situación extraña, envía una alerta para que se tomen las medidas apropiadas. Se sustituye de este modo la tarea que antes era llevada a cabo por una persona en un vehículo, logrando así una mayor eficiencia en el proceso.

En lo que respecta a la seguridad en las pistas, la concienciación sobre los peligros causados por los FOD (*Foreign Object Debris*) ha incrementado en los últimos años. De acuerdo con la definición de la Autoridad Federal de Aviación (FAA) de EE. UU., los restos de objetos extraños, FOD (*Foreign Object Debris*) a partir de ahora, son cualquier elemento que se encuentre en un lugar inadecuado dentro de la pista de aterrizaje, la calle de rodaje o la zona de rampa de un aeropuerto[4]. El término incluye objetos de cualquier tamaño y composición como pueden ser piezas de avión, tornillos, tuercas, artículos del personal y de equipaje o escombros de construcción.

Estos objetos son responsables de numerosos daños a la estructura del avión y al personal que trabaja en la pista. Pueden incrustarse en el motor del avión y dañar las palas de las turbinas, romper los neumáticos en el aterrizaje o ser propulsados por los motores en la rampa ocasionando lesiones a las personas que trabajan en ellas. Boeing estima que los daños causados por los FOD alcanzan los 4,000 millones de dólares al año[5].

El accidente relacionado con los FOD más notorio tuvo lugar el 25 de julio del año 2000. El vuelo 4590 de *Air France* se estrelló al salir del aeropuerto internacional de Charles de Gaulle debido a que en la pista había restos de titanio desprendidos de un avión que había despegado cuatro minutos antes. El accidente provocó la muerte de nueve miembros de la tripulación y cien pasajeros [6]. La tragedia y las consecuentes pérdidas económicas provocaron una creciente atención a nivel internacional a la gestión de riesgos de FOD y muchos países comenzaron investigaciones en sistemas de gestión de riesgos en pista para la detección automática de FOD.

La Organización de Aviación Civil Internacional recomienda que los aeropuertos inspeccionen la presencia de FOD cuatro veces al día[5]. Por ello, resulta necesario disponer de una solución de detección de FOD de alta rapidez, fiabilidad y eficacia. En la actualidad, la detección de FOD depende, en la mayoría de los aeropuertos, de la fuerza humana. Sr.

Paul Littlejohn, jefe de operaciones en la zona de operaciones de la Agencia Nacional de Viajes Aéreos de Dubai (dnata) y veterano de la Real Fuerza Aérea, recalca en una entrevista que el Aeropuerto Internacional de Dubai asigna entre cinco y diez hombres para la realización de esta tarea varias veces al día[7]. Además de la ineficiencia que esto supone a nivel de tiempo invertido, el sistema es propenso a fallos humanos y puede provocar retrasos en las operaciones de vuelo debido a la presencia de trabajadores en las pistas.

Todo ello ha llevado a la realización en la última década de numerosas investigaciones para el desarrollo de sistemas de detección de FOD sin intervención humana. Estos se basan en radares que emplean frecuencias de ondas milimétricas, videovigilancia y la combinación de ambos. Ejemplos de algunos de ellos aprobados por la FAA son:

- *Sistema Tarsier de QinetiQ* que emplea radares de ondas milimétricas de 94,5 GHz en torres junto a la pista[8]
- *FODFinder* de *Trex Enterprises*, también emplea radares milimétricos de baja potencia, pero estos pueden situarse junto a la pista o montarse sobre vehículos[9]
- Sistema de detección FOD *iFerret* desarrollado por *Stratech* que emplea una cámara de alta resolución[10]
- *FODetect* de *XSight* basado en la combinación de radares de ondas milimétricas con imágenes electroópticas de alta definición[11]

Estos presentan desventajas como el alto coste, interrupción de operaciones del aeropuerto para la instalación y mantenimiento del sistema; y la necesidad de profesionales capacitados que los operen. Además, el rendimiento de los sistemas de videovigilancia se ve comprometido por las condiciones meteorológicas e intensidad de la luz.

Posteriormente, haciendo uso de los avances en tecnología y el IOT, se desarrolló un sistema que salvaba dichos inconvenientes. La solución propuesta consiste un rover o vehículo autónomo que emplea tecnología de detección de luz y alcance (LiDAR) para la detección de FOD en las pistas o el perímetro del aeropuerto. El vehículo sigue una ruta previamente diseñada y, en caso de detección de algún objeto extraño, envía una alarma con su ubicación al operador a través del Bluetooth o de la red celular (señales de frecuencia 2.45 GHz o 900/1800 MHz respectivamente). La comunicación de órdenes al rover por Bluetooth se realiza a través de una app desarrollada por *mightyIT* y disponible de forma gratuita en

Google Play Store que permite el envío de instrucciones y el intercambio de información con el rover.

Como se ha mencionado anteriormente, el envío de alertas al operador también puede realizarse vía SMS a través de la red celular. La detección de objetos y obstáculos en la ruta se realiza mediante sensores de ultrasonidos y un LiDAR. Los primeros utilizan una frecuencia de onda acústica de 40 kHz y tienen un alcance limitado de modo que se emplean en la detección de objetos que puedan suponer obstáculos en la trayectoria del rover. Por su parte, el sensor LiDAR posee un largo alcance, capaz de llegar hasta 40 m (suficiente para cubrir el ancho de una pista de aterrizaje genérica) y por tanto, se emplea en la detección de los FOD[7]. El funcionamiento del sensor se basa en el envío de pulsos de luz láser y el cálculo del tiempo que tarda en reflejarse la primera señal, de modo que, si no hay ningún objeto cercano, no se refleja ninguna señal.

El sistema propuesto resultó ser barato y capaz de implementarse sin interrumpir las operaciones habituales del aeropuerto. Demostrando de este modo como la aplicación de las innovaciones tecnológicas permite aumentar la eficacia y disminuir los costes frente a métodos más tradicionales.

La tecnología continúa evolucionando y aportando formas de incrementar la eficacia de los diferentes procesos. Así, de acuerdo con Andrew Isenman, *Head of Technology* del aeropuerto de Heathrow, se ha llevado a cabo un proyecto para implantar 4G en los procesos de seguridad de este aeropuerto. La supervisión se realiza con cámaras que envían en tiempo real imágenes empleando tecnologías 4G al *edge computing* donde tiene lugar el análisis y procesamiento de estas. La computación en el borde permite agilizar y aumentar la eficacia del sistema, la nube únicamente se emplea para el entrenamiento de modelos y procesamiento de imágenes seleccionadas de modo. En caso de detectarse anomalías, se envía una alerta a las torres de control para que se tomen las medidas necesarias. Esta tarea se realiza de nuevo empleado 4G y ha permitido una reducción de entre el 30% y 40% en el tiempo de inspección de pistas.

Es hora de introducir el 5G en el sistema para, aprovechando las ventajas que ofrece asegurar la agilidad y fiabilidad en tareas relacionadas con la seguridad en pista.

1.3 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de aeropuertos inteligentes, que posean un valor diferencial a nivel de seguridad y que permita generar mayores ingresos y reducir costes.

Por tanto, una de las motivaciones generales es incrementar la seguridad, abogando así por la salud de las personas. Como se mencionaba anteriormente, los FOD no solo retrasan las operaciones en los aeropuertos, sino que ponen en riesgo la vida de las personas. Es necesario lograr un sistema de detección rápido, seguro y fiable que reduzca la probabilidad de este tipo de tragedias sin que la operativa se vea afectada. El sistema 5G + IA propuesto para el caso de uso de la seguridad en pistas, con su mayor ancho de banda y eficiencia, garantiza una mayor fiabilidad reduciendo los errores debidos a fallos humanos. Además, los retrasos generados por estos objetos son costosos para los aeropuertos de modo que la rapidez en la respuesta y detección es clave, esto se logra gracias a la baja latencia de la combinación 5G + MEC.

Por otra parte, los retrasos en operaciones y peligros que suponen las diversas intrusiones también resultan muy costosos y perjudiciales para los aeropuertos. El sistema propuesto en el escenario de seguridad perimetral permite adelantarse a dichas intrusiones, detectando agujeros en las vallas o escaleras que puedan permitir la entrada de personas o animales. Además del ahorro de los costes derivados de las intrusiones, la automatización de esta tarea permite reducir el número de personas involucradas aumentando la eficiencia del sistema y disminuyendo el coste en personal.

Una mayor seguridad será un factor diferencial para que las aerolíneas escojan el aeropuerto para volar. A su vez, mayor número de aerolíneas supondrá un mayor flujo de pasajeros por el aeropuerto y por tanto más ingresos. Unido a esto, la mayor actividad en el aeropuerto junto con la posible aplicación de los sistemas BI en las tiendas será un determinante clave para que diversos negocios como tiendas y restaurantes quieran operar en el aeropuerto, logrando, de nuevo, un aumento de los ingresos generados.

Se pueden destacar así tres factores motivacionales para la elaboración del proyecto: aumento en la seguridad, reducción de costes y aumento de ingresos en aeropuertos.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Se pueden definir los siguientes objetivos principales del proyecto:

- Desarrollo de soluciones de baja latencia. La combinación del 5G con Azure Private MEC permitirá lograr comunicaciones de baja latencia y gran ancho de banda para estos casos de uso en los que la rapidez es un elemento clave.
- Desarrollo de soluciones con cobertura de amplios espacios. La conectividad es esencial en ambos casos de uso y, en comparación con el 4G o Wi-Fi 6, la combinación de 5G + MEC logrará cubrir más espacio a mayor velocidad además de asegurar buena integración de los equipos en lugares donde la conectividad es un problema para otras tecnologías.
- Desarrollo de soluciones con capacidad de detección de gran variedad de incidentes. A la hora de detectar estas situaciones que pueden suponer un peligro, no basta con incrementar la rapidez, sino que el sistema ha de ser capaz de enviar alertas en situaciones muy diversas, desde una posible intrusión de animales hasta la existencia de escombros en la pista. La colocación y combinación adecuada de los sensores permitirá dar respuesta a incidentes que requieren medidas diferentes.

En cuanto a los objetivos específicos del proyecto individual en el que se enfoca el presente trabajo:

- Descripción y comprensión de la arquitectura empleada en las soluciones de los dos casos de uso.
- Definición de los impulsores de valor, esto es, los elementos que agregan al producto un valor diferencial. En este caso se buscarán fuentes de ingresos, ahorro de costes e incremento de seguridad.
- Elaboración de un TCO (*Total Cost of Ownership*) del MVP, es decir, el coste de la adquisición, instalación y mantenimiento durante 5 años de la solución.

En dicho análisis se valorarán cuatro escenarios distintos para identificar cuál es el óptimo a nivel de costes.

- Elaboración de un modelo de negocio del MVP. Se desarrollará un documento explicando los beneficios a obtener si se realiza la inversión en la solución propuesta.

1.5 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos del proyecto van más allá de los mencionados y buscan lograr una alineación con algunos de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS a partir de ahora) impulsados en 2015 por las Naciones Unidas[12].

- **3. Salud y bienestar.** Objetivo encaminado a incrementar la calidad de vida en cuanto a bienestar general y salud de las personas. Se encuentra directamente relacionado con el propósito del proyecto que es aumentar la seguridad en los aeropuertos. La rapidez y fiabilidad en la detección de FOD e intrusiones permitirá reducir el riesgo de accidentes.
- **8. Trabajo decente y crecimiento económico.** Entre otras cosas este ODS persigue promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos para los empleados. La seguridad perimetral y en pista no solo logrará reducir los riesgos para los pasajeros sino también para los operadores involucrados en estas tareas, mejorando de este modo las condiciones laborales de estos.
- **9. Industria, innovación en infraestructura.** Entre las metas de este objetivo se encuentra el desarrollo de infraestructuras fiables y estables. La incorporación de los sistemas propuestos aportará una mayor seguridad en el perímetro y las pistas de los aeropuertos, evitando los daños que se producen en las vallas cuando tienen lugar determinadas intrusiones y los perjuicios en las pistas cuando se producen accidentes con los FOD.

1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En primer lugar, se debe especificar que el presente trabajo es parte de un proyecto más amplio cuyo objetivo, como se ha mencionado anteriormente, es la implantación de las tecnologías 5G y MEC en aeropuertos. En concreto este trabajo se centra en el diseño y análisis de la viabilidad económica de este.

La planificación del trabajo seguirá el cronograma mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Este apartado está destinado a explicar las tareas que se van a realizar con vistas a alcanzar los objetivos propuestos y las metodologías que se emplearán en cada caso.

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Research 5G				
Research MEC				
Research Aeropuertos				
Anexo B				
Impulsores de valor				
TCO				
Modelo de negocio				
Redacción del trabajo				
Revisión y corrección				

Ilustración 3. Cronograma del trabajo. (Fuente: Elaboración propia)

Con objeto de lograr las metas del proyecto individual lo primero es familiarizarse con la tecnología y el entorno en el que se va a trabajar. Es por ello necesario un trabajo previo de investigación acerca del 5G, arquitectura MEC y la industria de los aeropuertos. Para ello se ha recurre a la lectura de artículos científicos, noticias acerca de las últimas innovaciones en el campo que se trata y ayuda de expertos en la materia.

Una vez se tiene suficiente conocimiento sobre la materia, se procede a pensar cómo nuestro producto puede satisfacer las necesidades existentes. En la determinación de los impulsores de valor se emplearán varias metodologías específicas. En primer lugar, *The Value Proposition Canvas*, para identificar las necesidades y prioridades del cliente y entender cómo el producto puede dar solución a los mismo. Muy ligada a la anterior, se empleará una metodología conocida como *The Business Model Canvas* que permitirá llegar a los creadores de valor para el negocio. Por otra parte, se hará uso del llamado *Framework de Peter*, un marco de trabajo que sirve de base para la elaboración de

proyectos con objetivos específicos. Finalmente, se emplearán las matrices de riesgo con objeto de evaluar los posibles riesgos que puedan surgir fruto del desarrollo del proyecto.

De manera simultánea a la definición de la arquitectura de la solución por parte del equipo especializado para ello, se va elaborando el TCO. Se elabora un listado de los dispositivos, redes y en definitiva activos necesarios y el coste a nivel de CAPEX y OPEX de los mismos. Dado que no se puede conocer sin estudio previo la arquitectura óptima se elaborarán 4 escenarios distintos dentro del TCO.

Finalmente, se procederá a la redacción del modelo de negocio, teniendo en cuenta los creadores de valor, los beneficios y posibles fuentes de ingresos que pueden resultar y el coste e inversión del proyecto.

La corrección de datos es de vital importancia. El trabajo que se va a desarrollar está basado en múltiples fuentes de información que habrá que contrastar y una arquitectura que puede ser objeto de modificaciones, de modo que la corrección y continua revisión del trabajo será un parte fundamental.

1.7 RECURSOS A EMPLEAR

Dado que muchas de las tareas a desarrollar tienen un componente creativo esencial, entre las herramientas y medios empleados son esencialmente una extensa bibliografía y el Software de Office.

Así, se recurrirá a artículos académicos, científicos y trabajos de experimentación para la parte de investigación. Estos se enfocarán en el 5G, MEC y comparación con otras tecnologías para determinar las ventajas que suponen las dos primeras. Por otra parte, se hace una profunda investigación acerca de la industria y el funcionamiento de los aeropuertos. Además de la bibliografía mencionada, se hará uso de entrevistas con técnicos y profesionales en la materia, así como con diversos agentes que trabajan en aeropuertos.

La elaboración del TCO se hará con Excel dada la versatilidad y facilidad de uso que ofrece esta herramienta. Por su parte, para la redacción y presentación, tanto del modelo de negocio como de la memoria se hará uso de Word y Power Point.

2 TECNOLOGÍAS 5G

Con objeto de entender mejor la propuesta de valor de la solución planteada, esta sección se centra en la tecnología 5G.

El 5G es la quinta generación de tecnología de comunicación móvil. Su principal objetivo es aportar a los consumidores y empresas una experiencia de comunicación más rápida, con mayor capacidad de respuesta y en definitiva más potente. La capacidad del 5G permite soportar un gran número de conexiones simultáneas además de ofrecer una mejora en la velocidad, fiabilidad, latencia y en el consumo de energía para los teléfonos y dispositivos IoT (*Internet of Things*) con respecto a generaciones anteriores[13]. En definitiva, estas características se traducen en una mayor velocidad de descarga y subida de datos a la nube y una menor latencia que permite lograr mejores rendimientos y un tiempo de respuesta corto a la hora de conectar múltiples dispositivos, esto es crítico en escenarios donde la seguridad es prioritaria. Unido a estas ventajas, la clasificación del 5G como tecnologías *software defined* permite una interacción con la red, es decir, a través de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) se puede establecer una comunicación con el operador o pedir una determinada calidad de servicio de la red. Por último, la necesidad de una SIM para acceder a la red 5G incrementa la seguridad en la misma al evitar intrusiones de extraños.

Los primeros teléfonos con empleo de 5G ya han llegado al mercado y el despliegue de este tipo de redes a comenzado en todo el mundo. No obstante, del mismo modo que ocurrió con la transición del 3G al 4G, las empresas de electrónica avanzada y demás jugadores del mercado involucrados no están seguros de los beneficios que esta nueva tecnología puede ofrecer. Existen dudas acerca del valor añadido de la tecnología, los casos de uso en los que las mejoras de rendimiento del 5G generarán más demanda y las aplicaciones que obtendrán un mayor beneficio.

A continuación, se presentan algunas tendencias en el mercado relacionadas con el despliegue del 5G:

- Enfoque de las empresas en casos de uso del 5G a corto plazo. El potencial de esta tecnología está haciendo crecer el interés de las empresas por ella y además, las redes habilitadas para su uso cuentan con capacidad suficiente para solucionar los

actuales retos de estas. De acuerdo a un estudio realizado por EY, debido a la pandemia un 85% de los encuestados afirmaba haber visto un creciente interés por el 5G y el 56% piensa invertir en esta tecnología en los próximos tres años[14].

- Creciente viabilidad de las aplicaciones conectadas modernas. Se trata de aplicaciones con alto rendimiento, baja latencia, conscientes de la red y ubicación, que emplean 5G para ofrecer computación desde la nube hasta el borde donde sitúa el problema. La baja latencia, gran ancho de banda y escala de las redes 5G se emplea para adaptarse a la red en tiempo real y trasladar la computación en tiempo real, ofreciendo soluciones a escenarios completamente nuevos.
- Nueva oportunidad para los desarrolladores. Según afirma la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos, ninguna empresa domina actualmente el 5G[15], esto supone una gran oportunidad para aquellas empresas que decidan invertir en la optimización de esta tecnología. No obstante, cabe destacar que todavía muchos desarrolladores no están aprovechando las capacidades que el 5G ofrece debido a la complejidad percibida con respecto a las redes 4G LTE. La falta de soluciones estandarizadas para llevar las aplicaciones al borde, cantidad de normas, proveedores y operadores de red hacen que el desarrollo sea difícil y que los desarrolladores duden a la hora de aprovechar las oportunidades del 5G.
- Dificultades de implantación de la tecnología debido a las variaciones políticas de los distintos mercados y zonas geográficas. Según la CTIA, las políticas que deben abordarse incluyen la liberación de nuevas ondas aéreas con conductos de espectro de banda baja, media y alta para ayudar a los proveedores a satisfacer la creciente demanda, la modernización de las torres celulares de 200 pies con una gobernanza moderna y la creación de regulaciones federales permanentes para proteger a los consumidores inalámbricos[16].
- Cobertura del 5G limitada. La cobertura global de esta tecnología se encuentra limitada y generalmente relegada a las zonas urbanas lo que compromete algunas aplicaciones de uso como puede ser el mapeo del tráfico en tiempo real de en vehículos autónomos. No obstante, aunque no se logre aprovechar todas las ventajas del 5G, un enfoque más inmediato puede ser un modelo híbrido que permita el despliegue del 5G aprovechando la conexión a un núcleo 4G.

2.1 CARACTERÍSTICAS

La tecnología 5G ofrece numerosas ventajas con respecto a generaciones anteriores, se espera que en un futuro próximo se convierta en la tecnología elegida para comunicaciones críticas que requieran calidad de servicio y extrema fiabilidad. Sin embargo, no se han alcanzado resultados óptimos todavía en todas las dimensiones de forma simultánea debido a limitaciones tecnológicas y de infraestructura.

La Ilustración 4 muestra una comparativa en diferentes dimensiones del 5G con otras tecnologías inalámbricas. Para un mejor entendimiento, se explican a continuación en detalle las diferentes ventajas que ofrece el 5G:

- **Mejora en rapidez** con respecto a la mayoría de las tecnologías anteriores. El 5G permite comunicaciones inalámbricas extremadamente rápidas, con una latencia de pocos milisegundos y una velocidad media diez veces mayor que la que ofrece el 4G. Debido a esto, ciertos casos de uso que antes eran inviables debido a límites tecnológicos y elevados costes, son posibles gracias al 5G. Así, esta tecnología permite a muchas cámaras transmitir imágenes a un router en calidad 4K, lo que permite un procesado en mayor detalle para la inferencia y detección de problemas con modelos de IA. El streaming con tecnologías anteriores era más limitado y la resolución de aquellas cámaras que sí podían transmitir imágenes a un router era menor.
- **Incremento en el número de dispositivos que pueden conectarse a una misma unidad de espacio.** También permite aumentar el número de dispositivos que pueden conectarse de forma simultánea. En concreto, en comparación con el 4G, esta tecnología permite conectar hasta cien veces más dispositivos a una misma unidad. Esto resulta una gran ventaja para el ahorro de costes y la ampliación de escenarios que antes resultaban imposibles.
- **Mejora de la eficiencia y cobertura en estructuras cubiertas.** Esto se traduce en una mayor eficiencia en espacios como aparcamientos o túneles donde el 4G perdía conectividad. Además, dado que con las tecnologías 5G se reduce la energía necesaria, los sensores que dependen de baterías podrán emplearse más tiempo.

- **Mejora en rapidez y fiabilidad con respecto a la red Wi-Fi pública.** Esta característica permite reducir la necesidad de conectar las soluciones a redes de terceros o puntos de acceso gratuitos a fin de lograr conexiones de alta velocidad, el 5G ofrece un 99% de cobertura nacional en gran cantidad de países. Además, dado que no existen interferencias en el espectro radioeléctrico se reduce la probabilidad de interferencias, las redes Wi-Fi, por el contrario, pueden superponerse unas a otras empeorando el rendimiento. Por último, una ventaja muy importante reside en la capacidad del 5G para dividir la red, dando diferentes prioridades a cada dispositivo, logrando así un mayor grado de control. Esto permite que los escenarios en los que se emplea 5G y MEC pública se beneficien de una mayor velocidad y fiabilidad que la que conseguirían con las redes Wi-Fi 5.

Por último, es especialmente importante destacar las ventajas que supone el 5G con respecto a las redes Wi-Fi 6 ya que, a pesar de ser tecnologías complementarias, determinadas características del 5G hacen que sea una elección más apropiada para el proyecto en cuestión.

En primer lugar, ofrece una mejor conectividad en espacios abiertos, con cobertura a largas distancias y dispositivos en movimiento. De este modo se asegura una conectividad óptima en áreas amplias y se elimina la necesidad de los usuarios de permanecer próximos al router o dispositivo de acceso, las antenas pueden colocarse en cualquier lugar y cubrir grandes espacios sin apenas limitaciones de distancia. El Wi-Fi 6 por su parte es más atractivo en espacios interiores dado su bajo coste y fácil mantenimiento, pero su alcance es limitado.

Además, el Wi-Fi emplea un espectro sin licencia de modo que no se tiene control sobre los dispositivos conectados al mismo espectro radioeléctrico. Puede haber demasiados dispositivos conectados a un mismo canal debido a que las redes Wi-Fi pueden conectarse al mismo espectro y repercutir así negativamente en la velocidad y rendimiento. Las redes 5G, sin embargo, están gestionadas por operadoras o empresas con licencia en el caso de las redes privadas, siendo necesarias cuotas de suscripción para acceder al espectro radioeléctrico. Unido a esto, se encuentra el hecho de que el

rendimiento de las 5G está más ligada a la intensidad de la señal recibida, y no tanto a la cantidad de dispositivos conectados.

En definitiva, si bien las redes Wi-Fi 6 EWPueden ser una mejor alternativa en el uso de interiores dada su baja latencia y coste, el 5G resulta ser una mejor solución para el proyecto de aeropuertos puesto que permite una mayor capacidad de control, reduce las limitaciones en exteriores y garantiza mayor flexibilidad a la hora de ubicar los dispositivos IoT.

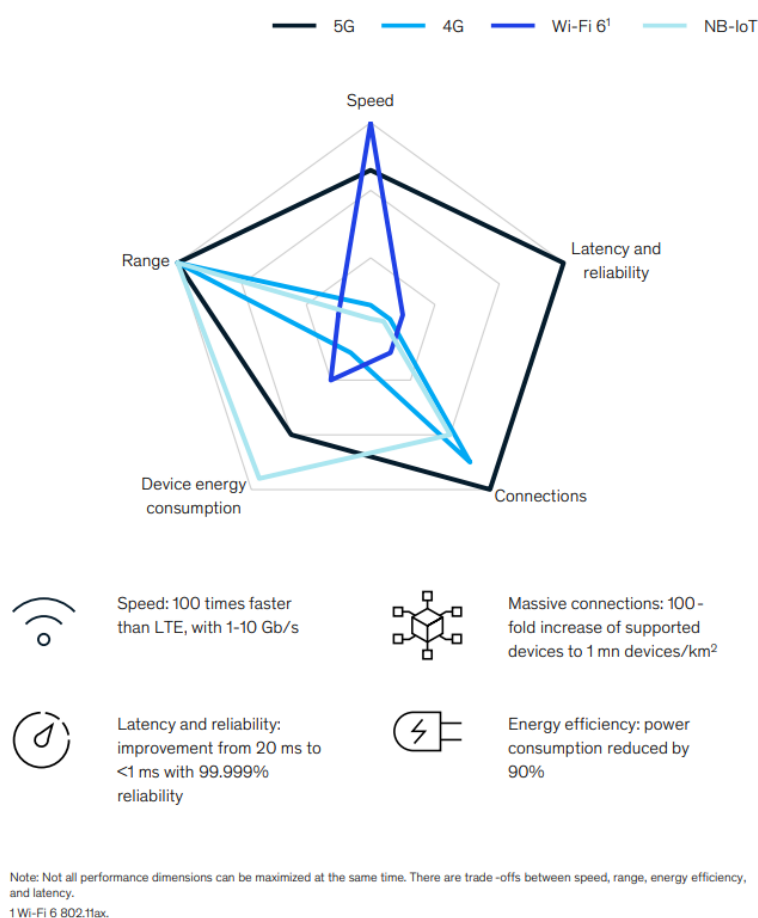


Ilustración 4. Comparativa del 5G con otras tecnologías inalámbricas. (Fuente:[13])

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se concluye que el 5G ofrece una tecnología más potente para la construcción tecnológicas en combinación con la IA y el IoT. Es por ello que ha sido la tecnología escogida para el desarrollo de aeropuertos “inteligentes” en términos de seguridad y comunicación rápida y fluida.

3 MULTI-ACCESS EDGE COMPUTING

Multi-Access Edge Computing (MEC) es una tecnología que acerca las capacidades de computación y almacenamiento de datos al borde de una red, con el fin de reducir la latencia y mejorar el rendimiento de aplicaciones y servicios. Implica el despliegue de pequeños y potentes nodos informáticos en el borde de la red, normalmente en torres de comunicaciones, estaciones base u otras ubicaciones cercanas a los usuarios finales.

Actualmente, los datos son uno de los recursos más valiosos de una empresa, proporcionan información sobre el negocio y ofrecen control en tiempo real de las operaciones y procesos críticos de la empresa. Estas recogen de forma rutinaria multitud de datos procedentes de distintos sensores y dispositivos IoT que operan desde ubicaciones remotas en tiempo real. El método tradicional consiste en que los datos en el punto del cliente se mueven a través de una WAN (*Wide Area Network*), como internet, a través de la LAN (*Local Area Network*) corporativa, donde son almacenados y procesados por una aplicación empresarial. Posteriormente, los resultados computacionales se devuelven posteriormente al cliente. Sin embargo, estas infraestructuras se están viendo comprometidas ya que el número de dispositivos conectados a internet y el volumen de datos producidos está creciendo muy rápido. De acuerdo a las predicciones de Gartner, en 2025, el 75% de los datos generados por empresas se creará fuera de las estaciones de datos centralizadas[17]. La tecnología evoluciona y con ella la gestión de los datos por parte de las empresas. Así, las limitaciones de ancho de banda, latencia e interrupciones hacen que se vayan abandonando las estaciones tradicionales de recogida de datos centralizadas y se abra camino a alternativas como el *edge computing*.

Edge computing es una arquitectura de tecnología de la información distribuida en la que los datos se procesan en la periferia de la red, lo más cerca posible de la fuente de origen. Se trasladan algunos recursos de cómputo y almacenamiento fuera de la estación de datos central. Así, en lugar de transmitir los datos a estas estaciones centrales, se procesan y analizan en el mismo lugar en el que se generan. Únicamente se enviarán al centro de datos los resultados del análisis en el borde para que puedan tener lugar allí las revisiones e intervenciones humanas necesarias. En general, se requiere poco más que

un bastidor parcial de equipos para operar en la LAN remota con el fin de recoger y procesar los datos a nivel local[18].

Las tecnologías MEC se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluidas las redes móviles, la Internet de las Cosas (IoT) y las redes 5G. Al acercar los recursos informáticos y de almacenamiento de datos al usuario final, la tecnología MEC puede ayudar a reducir la cantidad de datos que es necesario transmitir a través de la red, lo que puede mejorar la velocidad y la fiabilidad de las aplicaciones y los servicios.

Además de reducir la latencia y mejorar el rendimiento, la tecnología MEC también ofrece otras ventajas, como una mayor seguridad, ya que los datos pueden procesarse y almacenarse más cerca del punto de origen. MEC también es altamente escalable, ya que permite el despliegue de recursos informáticos adicionales según sea necesario para satisfacer las demandas de la red.

3.1 VENTAJAS DEL EDGE COMPUTING

Edge computing ofrece una solución eficaz a los problemas que emergen del traslado de considerables cantidades de datos que las empresas e individuales producen y que precisan de respuestas cada vez más sensibles al tiempo.

- **Mayor ancho de banda.** Las redes, especialmente las inalámbricas, poseen una cantidad limitada de datos que pueden transportar a lo largo del tiempo. Si bien esta se puede aumentar, sigue siendo limitado y el coste es muy elevado. *Edge computing* permite que muchos dispositivos funcionen a través de una LAN más pequeña y eficiente en la que el ancho de banda es empleado exclusivamente por los dispositivos locales.
- **Menor latencia.** Las grandes distancias físicas y las congestiones de la red hacen que aumente el tiempo necesario para enviar datos entre dos puntos de una red, retrasando así el proceso de análisis y toma de decisiones. El despliegue de los servidores y almacenamiento en el lugar donde se generan los datos permite reducir significativamente la latencia en el caso del *edge computing*.
- **Mejora de la congestión.** La retransmisión de datos por red se ralentiza e incluso puede llegar a interrumpirse completamente debido a la congestión de las redes.

por el alto volumen de datos y dispositivos conectados a internet. De nuevo, el empleo de una LAN más pequeña y el despliegue de recursos en el lugar de generación de datos hacen que el *edge computing* salve los problemas de congestión e interrupción de las redes.

- **Mayor autonomía.** Al trasladar la capacidad de cómputo al lugar de generación de datos, *edge computing* salva la necesidad de transmitir los datos a una estación central y permite dar solución en entornos donde la conectividad es limitada o el ancho de banda es muy restrictivo. Este el caso de operaciones que tengan lugar en ubicaciones remotas como desiertos o baros en el mar.
- **Soberanía de datos.** El traslado de datos a través de fronteras nacionales plantea problemas legales, de privacidad y seguridad de datos. El cómputo en el lugar de origen permite que los datos permanezcan dentro de la soberanía de datos vigente como el GDPR de la Unión Europea y que se asegure u oculte cualquier dato sensible antes de enviarlo a la nube.
- **Mayor seguridad.** Existe una creciente preocupación por la seguridad de los datos al ser enviados a la nube, el cómputo en el borde permite que el propio despliegue sea reforzado contra hackers y que los datos puedan ser cifrados para protegerlos antes de enviarlos

3.2 EDGE VS. CLOUD VS. FOG COMPUTING

El término *edge computing* se encuentra estrechamente relacionado con los conceptos de *cloud computing* y *fog computing*, si bien todos ellos se centran en el despliegue de recursos informáticos para el procesado y almacenamiento de datos, la diferencia reside en el lugar en el que se encuentran dichos recursos.

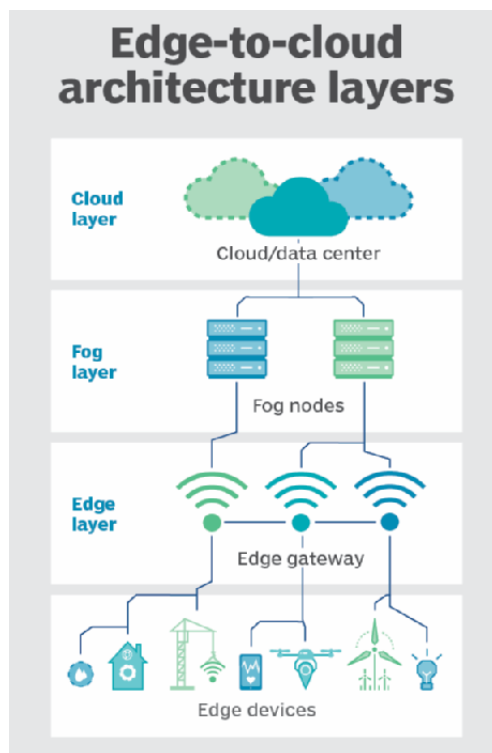


Ilustración 5. Comparativa de Cloud vs. Fog. Vs. Edge computing. (Fuente: [18])

Como se mencionaba anteriormente *edge computing* es una tecnología descentralizada, con ahorro de ancho de banda que consiste en el despliegue de recursos informáticos y de almacenamiento en el lugar donde se generan los datos, en el borde de la red.

En el caso de la nube (*cloud computing*) el despliegue de recursos es centralizado, de mayor carga y altamente escalable. Tiene lugar en ubicaciones globales distribuidas que pueden estar a cientos de kilómetros del punto de recogida de datos de modo que aumenta la latencia y la comunicación depende de la conectividad a internet igual que sucedía con los centros de datos tradicionales. No obstante, además de la escalabilidad y alta capacidad de cómputo posee ventajas como la incorporación de servicios preempaquetados para las operaciones de IoT.

Por su parte, el *fog computing* establece los recursos de forma descentralizada “dentro” de los datos, pero no necesariamente “en” los datos. Por ello mantiene la baja latencia y salva relativamente el ancho de banda. Se emplea por ello en casos en los que el centro de datos de la nube está demasiado lejos pero que el despliegue en el borde sea muy limitado en recursos o físicamente demasiado disperso, es decir, entornos donde los

sensores o dispositivos IoT generan datos en un área demasiado dispersa para definir un borde. Ejemplo de ello son las ciudades inteligentes, que necesitan analizar y procesar datos para optimizar el sistema de transporte u orientar la planificación urbana, pero en las que un único despliegue de recursos en el borde no es suficiente por lo que se deben operar varios despliegues de niebla dentro del entorno[18].

En términos generales, el *edge computing* es la opción más conveniente para aquellas aplicaciones y servicios que necesitan baja latencia y alta eficiencia, tales como el procesamiento y análisis de datos en tiempo real. Por otro lado, el *cloud computing* es la mejor opción para aquellas aplicaciones y servicios que requieren una gran cantidad de recursos informáticos bajo demanda, como las aplicaciones basadas en web y el almacenamiento de datos. Por último, el *fog computing* es la opción más conveniente para aquellas aplicaciones y servicios que requieren tanto baja latencia como la capacidad de procesar y almacenar grandes cantidades de datos, como las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT).

No obstante, cabe recalcar que las tres tecnologías no son excluyentes, sino complementarias. En multitud de escenarios se ha de optar por un enfoque híbrido pues habrá operaciones que requieran *cloud*, otras *edge* y otras *fog computing*.

3.3 MEC PRIVADA VS. MEC PÚBLICA

Es importante considerar el uso de una red 5G privada o pública en el caso de proyectos que involucren infraestructura de red y servicios en la borde, conocida como MEC (Edge Computing).

En el caso de la MEC privada, el cliente es el propietario y gestor de la red de acceso de radio 5G (RAN) y el núcleo de paquetes 5G ubicados en el emplazamiento de borde, así como de la infraestructura adicional para alojar servicios relacionados. Por otro lado, en el caso de la MEC pública, participan un proveedor de nube y un operador de telecomunicaciones, siendo la RAN propiedad del operador y la infraestructura de servicios propiedad del proveedor de nube, ubicada en un centro de datos cercano al emplazamiento.

Los escenarios MEC privados suelen ser más adecuados cuando se requiere una separación total de las redes móviles públicas más amplias y de los datos sensibles, así como un acceso a servicios en áreas a las que no llegan las redes públicas y una estricta seguridad de red. Por otro lado, los escenarios MEC públicos son más adecuados cuando se trata de usuarios finales como consumidores con teléfonos móviles y cuando se dispone de una infraestructura de red pública 5G suficientemente buena y adecuada para cumplir con los requisitos del caso de uso.

3.4 5G Y MEC

La digitalización global y el creciente desarrollo de soluciones 5G están potenciando significativamente la demanda de servicios de computación de borde multiacceso (MEC). Así, un estudio ha demostrado que el aumento de la demanda podría hacer crecer el gasto mundial en MEC de 8,800 millones de dólares en 2022 a 22,700 millones en 2027[19]. El crecimiento de demanda mencionada es en gran parte debido a que los servicios MEC son pilares para alcanzar los exigentes KPI (indicadores clave de rendimiento) de la tecnología 5G, especialmente en los que respecta a la baja latencia y eficiencia del ancho de banda.

En una encuesta realizada por STL Partners en noviembre de 2020[20], se preguntó a más de 700 empresas de diversos sectores sobre sus redes actuales. El 40% de los encuestados expresó quejas relacionadas con la latencia. Aquí, la computación de borde habilitada por el 5G tiene una importante oportunidad.

Según Yesmean Luk, consultor *senior* de STL Partners, la 5G y la computación de borde de acceso múltiple (MEC) son dos tecnologías que pueden y deben trabajar en conjunto. Gran parte de lo que el 5G pretende ofrecer en el futuro, como velocidades más rápidas, latencia extremadamente baja, redes flexibles y capacidades de red sofisticadas, se consigue ahora con MEC. MEC debe cumplir sus compromisos para que la red 5G sea plenamente operativa. Cuando se integre el 5G, es probable que se desarrollen más casos de uso para MEC. Algunas ventajas de la integración de 5G y MEC son la infraestructura de escritorio virtual, las operaciones remotas y la supervisión precisa.

A través de una encuesta que Google realizó en febrero de 2022 se obtuvo la siguiente información[21]:

- En los próximos 12 meses, 7 de cada 10 empresas prevén invertir en edge.
- 8 de cada 10 piensan que el 5G es necesario para obtener ventajas competitivas.
- Los impulsores de la inversión a corto plazo incluyen el aumento de la eficiencia y la seguridad, mientras que los objetivos a largo plazo se centran en las nuevas experiencias de los clientes.
- Las carencias de habilidades internas y la falta de socios con conocimientos son las principales barreras de edge.

El mundo actual está interconectado y dominado por la tecnología. No se puede impedir que el transporte aéreo innove en este nuevo entorno, especialmente si se centra en garantizar la fiabilidad, la automatización y la seguridad. Además, existe un potencial de opciones de conectividad y entretenimiento. El uso del 5G en combinación con las tecnologías de computación de borde puede aportar a los aeropuertos de todo el mundo un valor diferencial.

4 PROYECTO

Los aeropuertos actuales son pequeñas ciudades inteligentes que operan las 24 horas del día, los 7 días de la semana. En ellos se pueden encontrar una amplia variedad de tiendas, restaurantes, servicios e incluso hoteles en algunos de los principales aeropuertos del mundo.

Dentro de un aeropuerto ocurren muchos procesos, gran cantidad de ellos tras bastidores. Existen muchos grupos que trabajan de manera coordinada para asegurar que cada vuelo salga seguro y a tiempo, desde mantener la pista libre de obstáculos hasta controlar a todos los pasajeros y su equipaje. Estas tareas pueden automatizarse o mejorarse en cierta medida con la tecnología de vanguardia disponible hoy en día. Esto garantiza menos personal involucrado en la seguridad, reacciones más rápidas ante sucesos no deseados y más información, son solo algunos de los beneficios que se obtienen con el uso de estas tecnologías.

4.1 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El objetivo del proyecto es la creación de un sistema conectado de punta a punta que permita dar un valor añadido al aeropuerto a través de la mejora de la seguridad, la eficiencia operativa y la ampliación de fuentes de ingresos. Para ello se hará uso de las innovaciones tecnológicas en 5G y una red privada MEC.

4.1.1 OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Uno de los objetivos principales que se persiguen es la **detección de una amplia variedad de incidentes** en los aeropuertos. Esto es el primer paso para resolver los riesgos asociados a ellos. Además de ser rápidos en la detección, es importante tener una mente abierta en el proceso. Un objetivo para alcanzar es encontrar restos en las pistas que puedan caerse de los aviones durante el despegue o el aterrizaje. Otro objetivo es detectar posibles intrusiones en el aeropuerto, como agujeros en la valla o personas intentando escalarla. Estas diferentes situaciones requieren medidas diferentes y, con la combinación y colocación adecuadas de sensores, cámaras y otros dispositivos, se puede alcanzar este objetivo.

En segundo lugar, el proyecto persigue alcanzar una **cobertura de amplios espacios**, se trata de una característica clave para este caso de uso, ya que la conectividad es esencial. El 5G ofrece una excelente solución al respecto, ya que permite cubrir grandes espacios a velocidades más altas que las tecnologías 4G o Wi-Fi 6. Además, el 5G ofrece una mayor conectividad en espacios interiores. Su buen rendimiento en espacios abiertos lo convierte en una opción ideal para este caso de uso.

Por último, se persigue lograr una **baja latencia y una eficiente gestión del tráfico de red** en este sistema a través del empleo de 5G y Azure Private MEC permiten. Este sistema consigue una latencia reducida en todas las comunicaciones entre los artefactos relacionados, logrando esto a través de la utilización de 5G a través de Azure Private MEC. Una mayor eficiencia en la latencia y en el ancho de banda permiten la implementación de más casos de uso en los que la latencia es fundamental o en los que otras soluciones de red presentan limitaciones técnicas en cuanto a ancho de banda y conectividad. Además, debido a que el procesamiento de datos se realiza principalmente en el Edge, cerca de la fuente de los datos/vídeo, el tráfico enviado a la nube es mucho más eficiente al reducirse el volumen al subir a la nube sólo lo necesario.

Es esencial tener en cuenta que, aunque es posible enviar los datos a la nube desde un sistema en una red 5G, esta opción no se recomienda en sistemas que exijan un rendimiento óptimo o que estén sujetos a tiempos críticos, como es el caso de los aeropuertos, ya que esto podría reducir significativamente el rendimiento en términos de latencia. Según Microsoft y AT&T[22], cuando se requiere el máximo rendimiento posible de la red 5G en situaciones extremas, un MEC público puede lograr una latencia hasta un 26% más baja, un 20% menos de jitter y un 36% menos de tiempo hasta el primer byte en comparación con el envío de datos a la nube. Esto demuestra que el almacenamiento de datos en el propio sistema (como sucede en las MEC públicas y privadas) es más eficiente que enviar los datos a la nube.

Por tanto, es importante destacar que enviar los datos a la nube puede ser adecuado en sistemas donde la latencia no es un factor crítico, o cuando es difícil ubicar hardware de cómputo. Sin embargo, este no es el caso en el uso de aeropuertos, ya que este requiere detecciones y decisiones inmediatas al evaluar las pistas. Además, los aeropuertos

disponen de suficiente espacio para colocar el hardware de cómputo, permitiendo así mantener la capacidad de cómputo en el mismo aeropuerto y ahorrar fracciones de segundos que podrían salvar vidas. Otro factor que influye en la decisión de mantener la computación debe mantenerse en el aeropuerto es la eficiencia y el costo, ya que enviar todos los datos a la nube puede ser más costoso que mantenerlos de forma local.

No obstante, aunque el cómputo más urgente debe mantenerse en el aeropuerto, el cómputo menos crítico puede ser enviado a la nube. Esto incluye videos en los que se detectan amenazas y la información relacionada con ellas. Estos videos pueden ser analizados más tarde con las funciones de análisis de video que ofrece la nube, y la información obtenida puede utilizarse para entrenar modelos que mejoren los existentes. Estos modelos se implementan posteriormente mediante CI/CD.

En conclusión, el uso de los aeropuertos puede aprovechar las ventajas de la computación en el borde con 5G, como un ancho de banda amplio y una latencia extremadamente baja, pero también puede beneficiarse de la computación en la nube para el análisis de video de alta exigencia (sin limitaciones de latencia) o la inteligencia empresarial.

En lo que respecta a las redes MEC públicas o privadas, se ha optado por una red MEC privada. Esto se debe a que las características de la misma se ajustan mejor a los requerimientos del caso de uso en cuestión. A continuación, se presenta una tabla que resume las ventajas distintivas de cada opción, en relación con los requerimientos específicos.

<i>Requerimientos de acuerdo al caso de uso</i>	<i>MEC privada</i>	<i>MEC pública</i>
Computación en el borde	Computación y almacenamiento en el borde	Computación y almacenamiento en un centro de datos de la MEC pública próximo al borde (por ejemplo, en la misma ciudad)
Baja latencia	Muy baja latencia	Baja latencia

El despliegue específico de la RAN en el borde del emplazamiento es posible, pero podría haber restricciones para la colocación de la antena, especialmente en términos de altura de la torre	Se requiere un despliegue completo de la RAN en el emplazamiento periférico. Propiedad y gestión de la organización	Cobertura de red de radio 5G del proveedor necesaria o nuevo despliegue para llegar al sitio de borde
Capacidad de aislamiento de la red	Aislamiento total de la red 5G al ser privada	“Slicing” de red en la red pública y redes virtuales para la red de datos
El número de dispositivos depende de los casos de uso dentro de la 5G. Cuantas menos restricciones, mejor	Cualquier número de dispositivos	Restricciones de los proveedores de capas de la red

4.1.2 CASOS DE USO

La solución descrita en este documento aborda principalmente dos contextos utilizando una red privada 5G (5G MEC):

- **Seguridad perimetral:** Se enfoca especialmente en las vallas dañadas y la intrusión en el aeropuerto. En este contexto, la solución de 5G más Inteligencia Artificial se centra en evitar que cualquier persona o animal entre en el perímetro del aeropuerto, utilizando escaleras, agujeros o incluso escalando la valla. Esta medida se lleva a cabo de dos maneras: Por un lado, las cámaras de seguridad del aeropuerto detectan animales y personas y evalúan si están lo suficientemente cerca de la valla. Por otro lado, drones o robots autónomos realizan patrullas aleatorias en el perímetro y, además, pueden revisar detalles e imágenes de mayor calidad tomadas más cerca si las cámaras de seguridad detectaron algún posible problema.
- **Seguridad en las pistas:** En este escenario, la solución se centra en detectar posibles peligros en la pista que puedan impactar en los aviones al aterrizar o despegar, mediante el uso de modelos de IA de cámaras 5G. La detección

automática de peligros -desde cajas a objetos metálicos afilados- minimiza el error humano y agiliza la detección. Es importante tener en cuenta que un pinchazo o fallo en el tren de aterrizaje puede causar daños fatales a la aeronave, haciendo que falle durante el despegue o el aterrizaje, por lo que revisar la pista de forma periódica y automática es clave para el éxito.

Si bien ya se elaboró una breve descripción de estos escenarios en el apartado de Introducción, se explicarán en profundidad más adelante. No obstante, es posible mejorar la seguridad y la rentabilidad de la infraestructura aeroportuaria a través de la implementación de otros casos de uso adicionales que también utilizan tecnologías novedosas, como la red privada 5G (5G MEC) y la inteligencia artificial.

- **Descarga de la telemetría de los aviones:** La descarga de datos telemétricos de las aeronaves es un proceso crucial para garantizar la seguridad de los vuelos. Los aviones modernos generan grandes cantidades de datos durante sus vuelos, y es esencial descargar y analizar la información más importante de estos datos para detectar posibles problemas y garantizar la seguridad de los pasajeros. Con una red 5G, es posible comenzar a descargar y procesar estos datos de forma rápida y eficiente en cuanto el avión aterriza, lo que permite a los aeropuertos operar de manera más ágil y evitar retrasos en los vuelos. Además, el procesamiento de estos datos de forma rápida y precisa puede ayudar a garantizar una mayor seguridad para todos los pasajeros a bordo.
- **Seguimiento y manipulación de equipaje:** El seguimiento y la manipulación de equipajes son una preocupación importante para los aeropuertos, ya que una mala reputación puede tener un impacto negativo en el negocio. Utilizar tecnologías como la red 5G y la inteligencia artificial para supervisar cada maleta que se entrega al facturar y evitar pérdidas de equipaje es fundamental. Además, la detección de manipulaciones ilegales del equipaje por parte de los operadores es una cuestión de seguridad que puede solucionarse con estas tecnologías avanzadas. Gracias a ellas, es posible llevar a cabo un seguimiento inteligente de las maletas y garantizar la seguridad en el aeropuerto.

- **Seguridad en las terminales:** La seguridad en la terminal es de vital importancia para garantizar el buen funcionamiento de un aeropuerto. Una solución que combina la tecnología 5G y la inteligencia artificial puede ser útil para detectar en tiempo real posibles riesgos, tales como maletas sospechosas, armas u otros peligros, sin la necesidad de supervisión humana. Esta solución también puede ser útil para identificar situaciones que pueden interrumpir el orden y la seguridad en la terminal, como peleas, corredores, gritos o niños solos. Es importante detectar estos problemas de forma rápida para poder actuar de manera oportuna y garantizar la seguridad y el orden en el aeropuerto.
- **Control de personas:** La seguridad y el flujo de pasajeros en la terminal son factores cruciales para la eficiencia y el bienestar de los viajeros. Para garantizar una experiencia de vuelo sin problemas y evitar posibles molestias, es importante implementar soluciones tecnológicas avanzadas como la red 5G y la inteligencia artificial. Estas pueden detectar aglomeraciones, personas que no respetan los carriles o la dirección en la que se desplaza la mayoría de la gente, permitiendo a los equipos de seguridad controlar de manera eficiente el flujo de pasajeros y garantizar una experiencia más fluida en el aeropuerto.
- **Control y optimización de tiendas:** Se propone un sistema "Just Walk Out" como el de Amazon GO para mejorar la experiencia del cliente al tiempo que se optimizan las operaciones de las tiendas minoristas. Es posible obtener datos reveladores de esas tiendas para aumentar su visibilidad o sus beneficios combinando sus datos de entrada-salida con las compras realizadas en ellas.
- **Push to three:** La comunicación entre los operadores del aeropuerto puede mejorarse significativamente empleando dispositivos radio o *walkie talkies* que se benefician de la red 5G para lograr una mayor conectividad y ausencia de interferencias. El término push to three[23] hace referencia a una comunicación en tres dimensiones: texto, imagen y vídeo. El empleo de una red 5G es especialmente importante en el caso del vídeo, que podrá ser enviado y recibido en menor tiempo y con mayor calidad.

Para cubrir todos estos casos de uso, el diseño de la arquitectura está concebido para ser altamente escalable, incluso para escenarios más amplios que los expuestos donde se deben cubrir muchos más casos de uso. Esta escalabilidad permite incluir esos casos de

uso secundarios al tiempo que se da soporte a las soluciones de seguridad primarias, que son la máxima prioridad.

5 PRIMER CASO DE USO

5.1 CONTEXTO

La seguridad perimetral en los aeropuertos se refiere a la protección del perímetro exterior del aeropuerto contra posibles amenazas o intrusos. Estas intrusiones suponen una amenaza a la seguridad de las personas y la infraestructura y generan retrasos en las operaciones aeroportuarias. Las principales amenazas de intrusión son:

- **Intrusiones ilegales:** Pueden ser intentos de entrada no autorizados en el aeropuerto, ya sea con fines delictivos o para ingresar ilegalmente al país.
- **Ataques terroristas:** Los aeropuertos son un blanco frecuente para los ataques terroristas debido a su gran afluencia de personas y a su importancia en la economía y en la infraestructura del país.
- **Robos y hurtos:** Pueden ser intentos de robar equipaje o propiedad del aeropuerto, lo que puede afectar la seguridad y la rentabilidad de la infraestructura.
- **Amenazas por parte de aves que pueden causar colisiones con aviones y afectar a la seguridad de las personas o interrumpir las operaciones del aeropuerto.**
- **Intrusión de animales salvajes:** Es posible que animales salvajes como lobos, osos o jabalíes intenten entrar en el aeropuerto y causar daños o peligros para las personas o la infraestructura.
- **Intrusión de animales domésticos:** Puede haber animales domésticos como perros que se escapan de sus dueños y entren en el aeropuerto, lo que puede causar problemas de seguridad o tráfico.

La seguridad perimetral en los aeropuertos es una medida clave para garantizar la seguridad de la infraestructura y de los pasajeros. Hay varias formas de implementar la seguridad perimetral en los aeropuertos, entre las que se encuentran:

- **Cámaras de vigilancia:** las cámaras de vigilancia instaladas en el perímetro del aeropuerto pueden detectar la presencia de personas o animales que intenten entrar en el perímetro del aeropuerto. Estas cámaras pueden ser monitoreadas en tiempo

real por el personal de seguridad y pueden activar alarmas en caso de detectar una intrusión.

- Drones o robots autónomos: los drones o robots autónomos pueden utilizarse para realizar patrullas aleatorias en el perímetro del aeropuerto. Estos dispositivos pueden tomar imágenes detalladas y enviarlas a una central de monitoreo para su revisión.
- Vallas: las vallas perimetrales son una medida física que impide la entrada no autorizada en el perímetro del aeropuerto. Las vallas deben estar bien mantenidas y deben ser difíciles de escalar o atravesar.
- Sensores: los sensores, como los sensores de movimiento o de vibración, pueden utilizarse para detectar la presencia de personas o animales en el perímetro del aeropuerto. Los sensores pueden activar alarmas o enviar una señal a una central de monitoreo en caso de detectar una intrusión.

5.2 DESCRIPCIÓN

En este escenario, se ha implementado un sistema de vigilancia en el aeropuerto mediante el uso de cámaras 5G. Estas cámaras pueden conectarse inalámbricamente a la red 5G, transmitiendo el streaming, o pueden cablearse en grupos para formar clusters de cámaras que envían las detecciones de forma inalámbrica. La información es procesada en servidores y, en caso de detectar una persona o animal intentando invadir el aeropuerto, se envían alertas para que la seguridad pueda reaccionar de manera rápida.

Además de estas cámaras fijas, se han utilizado robots autónomos o drones que pueden realizar patrullas aleatorias para evitar que los intrusos puedan predecir dónde se llevarán a cabo. Esto también permite comprobar la valla con mayor detalle mediante el uso de otra cámara conectada a la red 5G y algoritmos de inteligencia artificial que detectan alteraciones en la misma. Este sistema de vigilancia ofrece una protección constante y efectiva, ya que las cámaras fijas vigilan el perímetro las 24 horas del día y los 7 días de la semana, y las técnicas de detección de manipulaciones pueden alertar al equipo de seguridad en caso de intentos de alteración.



Ilustración 6. Esquema 2 del escenario de seguridad perimetral. (Fuente: Elaboración propia)

En lo que respecta a la seguridad, este escenario supone una reducción de la probabilidad de intrusiones de animales y personas en el perímetro del aeropuerto por varias razones:

- Se reduce el riesgo de intrusiones gracias al uso de algoritmos de inteligencia artificial y cámaras de alta calidad para detectar interrupciones en la valla, en lugar de depender únicamente de la precisión visual del ser humano
- La automatización del sistema permite acelerar la reacción ante eventos críticos sin depender de un operador que controle continuamente las cámaras. Se acelera la reacción de los dispositivos ante eventos críticos al acercar el aprendizaje automático y la lógica empresarial a las fuentes de datos mediante el uso de la computación de borde en la nube
- El empleo de drones que realizan patrullas aleatorias impide que los intrusos puedan anticipar las rutas de vigilancia.
- Se evita la manipulación de las cámaras de seguridad mediante un sistema interconectado que utiliza técnicas de detección de manipulación y emite alertas en caso de detectar intentos de alteración.
- Se logra optimizar la comunicación de alertas y permitir respuestas en tiempo real mediante la combinación de la inferencia de video de inteligencia artificial con la computación de borde. En un sistema que funciona continuamente las 24 horas

del día, los 7 días de la semana, el tiempo transcurrido entre que la cámara envía la imagen y el dispositivo periférico recibe el aviso es menor a un segundo. Se aprovecha la comunicación 5G de latencia ultra baja y alta fiabilidad para mejorar la eficiencia y aumentar el número de dispositivos (como cámaras o drones) conectados a un único router. El 5G permite conectar hasta cien veces más dispositivos en la misma área física que el 4G, y evita interferencias con otras redes gracias a su alta fiabilidad. Cada instalación registra el espectro a utilizar para evitar colisiones con otras redes. Este sistema también es capaz de funcionar de manera fiable sin conexión o en caso de tener conectividad limitada, y aumenta la eficiencia del tráfico de red priorizando los datos que se envían a la nube.

Por otra parte, se logran ventajas relacionadas con un aumento de eficiencia operativa:

- Se logra una mejora de la puntualidad y un aumento en el número de operaciones en el aeropuerto mediante la reducción del tiempo de respuesta. A su vez, esto se consigue mediante la ya mencionada optimización del sistema de comunicación de alertas aprovechando la baja latencia de las redes 5G MEC y automatizando las rutas de inspección perimetral mediante una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) conectada a la red 5G.
- Se garantiza una correcta inspección en días con condiciones meteorológicas adversas. Se mejora la vigilancia del perímetro mediante cámaras de alta calidad y se aseguran tiempos de inspección adecuados empleando drones en estos días en los que las patrullas humanas o mediante vehículos pueden verse perjudicadas.
- Se reducen los costes operacionales mediante la disminución de la mano de obra necesaria para las inspecciones de seguridad perimetral.

Finalmente, este escenario persigue una mejora de la reputación del aeropuerto en escenarios *green-field*. Esto es, en aquellos que ya dispongan de las medidas de seguridad que se consideren adecuadas, no se podrá aprovechar el incremento de seguridad para aumentar la reputación (aunque si se podrán aprovechar las anteriores ventajas de eficiencia operativa). No obstante, en aquellos aeropuertos donde no se han aprovechado ventajas tecnológicas para incrementar la seguridad, esto supondrá una oportunidad para fortalecer su imagen y obtener de este modo más concesiones.

6 SEGUNDO CASO DE USO

6.1 CONTEXTO

Como se ha mencionado anteriormente, la presencia de FOD en la zona de operaciones aéreas (AOA) de un aeropuerto supone una amenaza severa a la seguridad. Los FOD tienen el potencial de dañar las aeronaves durante las fases críticas del vuelo, provocando una pérdida catastrófica de vidas, daños en la estructura de la aeronave y, como mínimo, un aumento de los costes de mantenimiento y de explotación[24].

La presencia de FOD en la pista puede generar daños en los equipos y en el personal del aeropuerto. Los tipos de daños potenciales incluyen: cortar los neumáticos de la aeronave; ser ingeridos en los motores o alojarse en los mecanismos que afectan a las operaciones de vuelo. Las lesiones del personal o incluso la muerte pueden producirse cuando la explosión del chorro propulsa los FOD a través del entorno del aeropuerto a altas velocidades.

En lo referente a las fuentes de procedencia de estos, son múltiples y muy variadas. Estos objetos son generados por el personal, la propia infraestructura del aeropuerto, equipos como aeronaves, vehículos de operaciones o camiones de abastecimiento de combustible, además de ser generados por factores medioambientales como la nieve, la fauna o el hielo.

La naturaleza exacta de los FOD también es variada, con distintos colores, tamaños y composición material. La FAA enumera los siguientes FOD como objetos más típicos[24]:

- Elementos de fijación de la aeronave y del motor (tuercas, tornillos, arandelas, cables de seguridad, etc.)
- Piezas de aeronaves (tapones de combustible, fragmentos del tren de aterrizaje, palos de aceite, chapas, trampillas y fragmentos de neumáticos)
- Herramientas de mecánica
- Suministros de catering

- Artículos de la línea de vuelo (clavos, insignias del personal, bolígrafos, lápices, etiquetas de equipaje, latas de refresco, etc.)
- Artículos de la plataforma (restos de papel y plástico de palés de catering y de carga, piezas de equipaje y restos de equipos de rampa)
- Materiales de las pistas de aterrizaje y rodaje (trozos de hormigón y asfalto, materiales de juntas de goma y trozos de pintura)
- Residuos de la construcción (trozos de madera, piedras, elementos de fijación y objetos metálicos diversos objetos metálicos)
- Materiales de plástico y/o polietileno
- Materiales naturales (fragmentos de plantas, fauna y cenizas volcánicas)
- Contaminantes procedentes de las condiciones invernales (nieve, hielo).

Estos objetos extraños en la pista (FOD) pueden tener graves consecuencias en los aeropuertos. Algunas de las posibles repercusiones incluyen:

- Daños a la infraestructura: Los FOD pueden dañar la pista o las ruedas de los aviones al momento del aterrizaje o despegue, lo que puede llevar a retrasos y pérdidas económicas para el aeropuerto y las aerolíneas.
- Accidentes aéreos: Los FOD pueden causar accidentes aéreos graves al chocar con un avión en pleno vuelo. Esto puede tener consecuencias fatales para los pasajeros y el tripulante a bordo.
- Interrupción de los servicios aéreos: Si la pista está obstruida por FOD, puede ser necesario cerrar temporalmente el aeropuerto para realizar reparaciones y eliminar los objetos. Esto puede llevar a retrasos y cancelaciones de vuelos, lo que puede afectar a la economía del aeropuerto y del país.
- Costos de limpieza: Eliminar los FOD de la pista puede ser un proceso costoso y laborioso, lo que puede afectar la rentabilidad del aeropuerto.

Es esencial implementar medidas preventivas para evitar la entrada de objetos extraños en la pista y prevenir así problemas en el aeropuerto. La detección temprana y la eliminación de FOD es esencial para mantener la seguridad y la eficiencia en el aeropuerto.

6.2 DESCRIPCIÓN

En este escenario, es de suma importancia asegurar la total revisión de las pistas del aeropuerto para evitar posibles accidentes aéreos y pérdidas de vidas humanas. Para ello, se han colocado cámaras en coches o drones en posiciones estratégicas para enviar imágenes de alta calidad a servidores conectados a la red 5G. Estas imágenes son procesadas por modelos de inteligencia artificial de detección de objetos en busca de cualquier resto o obstáculo que pudiera haber quedado atrás. En caso de encontrar alguno, se emite una alerta geolocalizada para que el equipo de seguridad pueda limpiarlos de manera eficiente. Los drones o coches pueden manejarse de forma automática siguiendo rutas programadas o manualmente, mientras que el sistema de detección basado en modelos de inteligencia artificial funciona de manera autónoma.



Ilustración 7. Esquema 2 del escenario de seguridad en pista. (Fuente: Elaboración propia)

En lo que referente a la seguridad, este escenario supone una reducción de la probabilidad de accidentes aéreos y otros daños causados por peligros en la pista por varias razones:

- Se consigue aumentar la fiabilidad de las inspecciones mediante el uso de drones equipados con cámaras de alta calidad capaces de detectar FOD pequeños y a veces difícilmente detectables por el ojo humano
- Se evitan los puntos ciegos mediante el escaneo completo de las superficies de las pistas de forma reiterada

- Se agiliza la detección de FOD empleando modelos de inteligencia artificial que automatizan el procesamiento de imágenes. Se logra acelerar la respuesta de los dispositivos ante eventos críticos mediante la aproximación del aprendizaje automático y la lógica empresarial a las fuentes de datos a través del uso de la computación de borde en la nube.
- Se mejora la eliminación y retirada de FOD detectados mediante el envío de alertas geolocalizadas al equipo de seguridad
- Se consigue optimizar la comunicación de alertas y permitir respuestas inmediatas mediante la integración de la inferencia de video de inteligencia artificial con la computación de borde. La justificación de este punto es la misma que la anteriormente explicada en el primer caso de uso

Del mismo modo que sucedía en el escenario de seguridad perimetral, en este caso de uso también se logran ventajas de eficiencia operativa:

- Se consigue una mejora en la puntualidad y un aumento en el número de operaciones en el aeropuerto gracias a la reducción del tiempo de respuesta. Esto se consigue a su vez mediante la optimización del sistema de comunicación de alertas, que aprovecha la baja latencia de las redes 5G MEC y automatiza las rutas de inspección de pistas, que serán llevadas a cabo por drones en lugar de vehículos de patrulla. Además, las redes 5G permiten incrementar el número de dispositivos conectados funcionando al mismo tiempo lo que permite a su vez reducir el tiempo de inspección de pistas
- Se garantiza una correcta inspección en días con condiciones meteorológicas adversas. Se previene el cierre de pistas en estos días, se aseguran tiempos de inspección adecuados y se permite la detección de hielo en las pistas con drones en vez de vehículos cuyo funcionamiento puede verse perjudicado
- Se reducen los costes operacionales mediante la disminución de la mano de obra necesaria para las inspecciones de seguridad en pista

Por último, igual que sucedía en el primer caso de uso, se consigue una mejora de la reputación del aeropuerto en escenarios *green-field*.

7 ARQUITECTURA

Se propone una arquitectura híbrida, esto es, combina la nube y la computación de borde. Esta última es especialmente beneficiosa en los escenarios que requieren inferencia de vídeo de inteligencia artificial en tiempo real. La solución empleada será Azure Private MEC, que combina conectividad 5G, computación de borde y en la nube, además de gestión de redes y servicios de aplicaciones desde la nube.

Antes de comenzar con la descripción en detalle de la arquitectura, se realizará una breve explicación del flujo de datos desde la detección en las cámaras para facilitar la posterior comprensión de los dispositivos involucrados en cada una de las tareas.

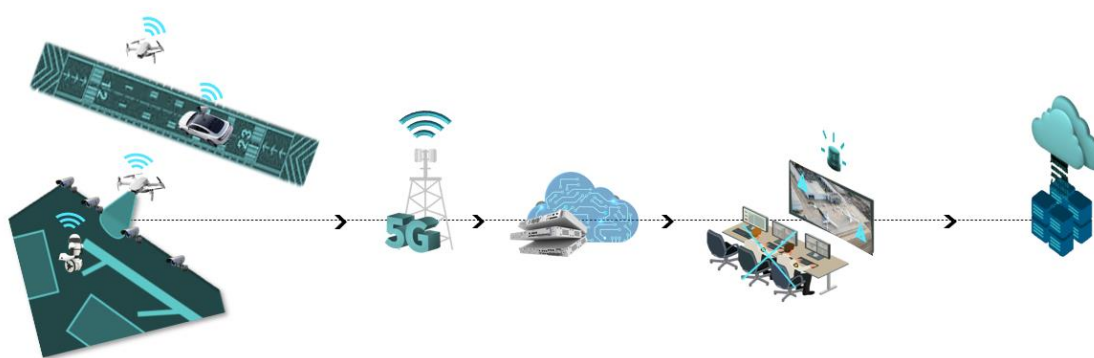


Ilustración 8. Esquema flujo de datos en la arquitectura. (Fuente: Elaboración propia)

En primer lugar, las imágenes captadas por las cámaras ya sean fijas o montadas sobre los drones, robots y vehículos, se envían a los dispositivos de borde encargados de su procesamiento. Dicho envío puede llevarse a cabo de dos formas:

- Envío del streaming de forma inalámbrica empleando la red 5G y las RAN (*Radio Access Network*)
- Por medio de cables en caso de que existieran ya cámaras cableadas en el sistema original

Una vez recibidos los datos, comienza el procesamiento de los mismo incluyendo el cómputo, la inferencia de IA y otros módulos internos. La inferencia en tiempo real sustituirá a las interfaces humanas y a los ojos que analizan las imágenes para

proporcionar alarmas cuando se produzcan irregularidades específicas de seguridad, protección u operativas.

En caso de que sea necesario, tras el procesamiento de los dispositivos periféricos, se activan alarmas que permiten respuestas a eventos críticos en tiempo real.

Finalmente, los módulos se envían periódicamente a la nube para su entrenamiento, para encontrar patrones de comportamiento y hacer predicciones.

7.1 DISPOSITIVOS DE BORDE

Las principales diferencias entre la arquitectura de los dos casos de uso se dan en el primer nivel, esto es, los dispositivos de borde.

En el escenario de seguridad perimetral, los dispositivos de borde son aquellos que realizan la vigilancia del perímetro y los que permiten la conexión de estos dispositivos a una red 5G

- Cámaras fijas de resolución 1080p, que serán orientadas en la misma dirección para evitar ángulos muertos. La distancia entre estas puede ser grande gracias a la alta calidad de imagen que poseen y no tienen requisitos especiales como la capacidad de obturación, pues no es necesario que detecten elementos que se mueven a altas velocidades.
- Cámaras de resolución 4K instaladas en cada robot o dron que vigile el perímetro con objeto de enviar datos “desde el suelo” y hace así posible la detección de agujeros en las vallas o realizar patrullas aleatorias.
- Drones. Estos realizarán las distintas patrullas y vigilancia “desde el suelo”.
- Modems 5G para los drones. Estos dispositivos proporcionan la conectividad de comunicación inalámbrica 5G entre el dron y la estación de control. Se permite así la transmisión de datos, imágenes y vídeo en tiempo real además del control del movimiento y funciones de los drones. Se emplean también para establecer una conexión de red entre varios drones.

Por su parte, en el escenario de seguridad en pista, los dispositivos de borde son aquellos que realizan la vigilancia en pista y los que permiten la conexión de los anteriores a la red 5G.

- Cámaras de resolución 4K instaladas en vehículos o drones que realicen la vigilancia en pista. En el caso de los drones, basta con colocar una cámara por dispositivo, sin embargo, en el caso del vehículo serán necesarias dos para poder cubrir ambos lados de este. Es deseable que las cámaras utilizadas cuenten con la capacidad de obturación global, pues es necesario detectar con precisión los objetos que puedan haber sido desplazados a la pista mientras el vehículo se encuentra en movimiento, ya que existe un período limitado para revisar cada pista. En caso contrario, se requiere una tasa de captura de imágenes elevada para cubrir cada centímetro de la superficie de la pista mientras se viaja a altas velocidades.
- Drones. Estos recorrerán la pista de despegue y aterrizaje buscando FODs y enviando alertas en caso de encontrar situaciones críticas. Cabe destacar que en el posterior análisis económico no se ha considerado la necesidad de comprar vehículos dado que estos ya suelen ser parte del equipo de vigilancia en aeropuertos.
- Modems 5G para los drones. Igual que sucedía en el escenario de seguridad perimetral, estos aparatos ofrecen la conexión inalámbrica 5G entre el dron y la estación de control haciendo posible el envío de información, imágenes y vídeo en tiempo real, así como la coordinación de los movimientos y las funciones de los drones. También son empleados para establecer una conexión de red entre varios drones.

En ambos escenarios, la tarea más importante es la inferencia de video en tiempo real para generar alertas inmediatas. Por lo tanto, el flujo de video tiene un impacto significativo en la configuración de la red de radio y en las especificaciones y cantidad de dispositivos de computación en el borde.

En lo referente a la capacidad de vídeo, las cámaras de los drones enviarán vídeos 4K (3080 x 2160 píxeles) a 30 fps (*frames per second*), cerca de 4 MBps (*Megabits per*

second). Las cámaras fijas del escenario perimetral pueden tener una resolución menor, con 1080p (1080 píxeles) es suficiente.

La potencia de procesamiento de los dispositivos de cómputo en el borde se estima que sea de entre 2 y 4 secuencias de vídeo en tiempo real utilizando GPU Nvidia A2[25], en función de la velocidad de los fotogramas deseada. Este último es un dispositivo de procesamiento gráfico desarrollado por Nvidia que se emplea para mejorar el rendimiento del procesamiento gráfico, así como en aplicaciones de IA y aprendizaje automático para acelerar el procesamiento de datos y mejorar el funcionamiento de las redes neuronales. Cabe destacar que la potencia de procesamiento indicada es solo una estimación conservadora y que puede variar en función de la selección final del modelo de IA, del ajuste y de las optimizaciones de software para hardware específico.

Los aeropuertos de gran capacidad que cuentan con sistemas de videovigilancia 5G completos (tanto en terminales como en perímetros) pueden llegar a contar con una gran cantidad de dispositivos de captura de imágenes transmitiendo simultáneamente. Esto se traduce en una gran cantidad de tráfico de video en tiempo real con una alta resolución y tasas de fotogramas, que pueden ser muy exigentes en términos de requerimientos de ancho de banda. Debido a que estas cifras son muy elevadas y su costo también lo es, se presentan las siguientes opciones:

- *Individual HUE*: Esta opción se llevaría a cabo mediante el uso de dispositivos de hardware ubicados cerca de las cámaras y lo suficientemente potentes como para ejecutar modelos de gran tamaño. Algunos ejemplos, dependiendo de la precisión del modelo aceptable, serían el Nvidia Orin Nano 8GB o el Nvidia Orin AGX 32 GB. Estos dispositivos se conectarían después a la red 5G para enviar los resultados de la inferencia con una latencia mínima para garantizar que el sistema reaccione lo más rápido posible. En caso necesario, se pueden enviar a través de la red secuencias de video reducidas con o sin los resultados de la inferencia.
- *Agrupación de cámaras (Clustering)*: Varios dispositivos cercanos entre sí se agrupan y se analizan en un dispositivo de borde ubicado cerca de las cámaras. Estos dispositivos de borde están conectados por cable a la pasarela informática. El dispositivo de computación ejecuta un pequeño modelo allí y envía -con una latencia extremadamente baja gracias al 5G- los resultados de la inferencia a otro

servidor de borde para su análisis. Los flujos de video reducidos, con o sin los resultados de la inferencia, pueden enviarse a través de la red si es necesario.

- Cámaras cableadas: Si algunas cámaras ya están cableadas, obtener esa transferencia de datos a través de los cables y no mediante transmisión inalámbrica disminuiría exponencialmente la cantidad de ancho de banda necesario. Las nuevas cámaras instaladas pueden entonces transmitir de manera fluida con alta calidad, y obtener posteriormente los resultados con esa latencia extremadamente baja (gracias al 5G).

Sin embargo, en caso de que algunas cámaras ya estén cableadas por lo que se reduce el número de cámaras inalámbricas necesarias, surge la posibilidad de emplear cámaras 5G:

- Cámaras 5G: Las cámaras podrán transmitir una alta calidad de video 4K 30 FPS a través de la red sin ningún tipo de congestión, enviando ese flujo de video directamente a los servidores de borde para su análisis. Las secuencias de video de tamaño completo se transmiten a través de la red para su procesamiento posterior.

7.2 5G RAN

El 5G RAN, o Red de Acceso de Radio 5G, es un componente esencial de una red 5G que se encarga de proporcionar la conectividad inalámbrica entre los equipos de usuario (UE) como cámaras y el resto de la infraestructura de red. Este sector de la red es responsable de establecer conexiones, gestionar las comunicaciones inalámbricas y asignar recursos a los dispositivos conectados.

El RAN 5G difiere de las redes de generaciones anteriores en su mayor capacidad y velocidad, así como en su capacidad para manejar una mayor cantidad de dispositivos conectados simultáneamente. Además, el 5G RAN es altamente escalable y flexible, lo que permite adaptarse a las necesidades específicas de una amplia variedad de aplicaciones y usuarios. El 5G ha permitido que la infraestructura de red evoluciones desde una estación base, radios y antenas hacia una virtualización de la red (NFV) en la que estos elementos pueden ser proporcionados por elementos de *software* instalados en

servidores normales en el borde. Con este objetivo, las redes de acceso por radio virtualizadas (vRAN), emplean tecnologías de virtualización o contenedores para desplegar la unidad distribuida (DU) y la unidad central (CU) en servidores. Estos últimos pueden ser servidores Azure Stack Edge u otros que se instalen en el borde. Cabe destacar que la conectividad entre la estación de radio (RU), los dispositivos de procesamiento en el borde de la red y la red principal/Internet generalmente debe ser mediante medio de fibra óptica.

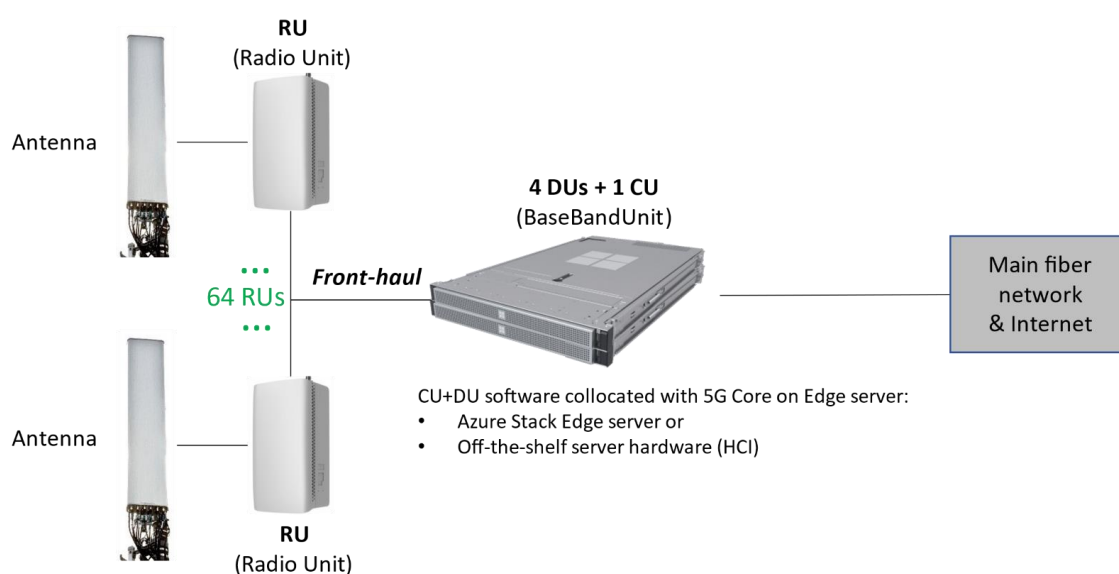


Ilustración 9. Ejemplo simplificado de RAN con DUs y CUs en el mismo servidor.

(Fuente: Elaboración propia de la compañía)

A la hora de dimensionar la red habrá que tener en cuenta ciertas consideraciones. La idea es que los elementos de la RAN como DUs y CUs se encuentren centralizado en un edificio del aeropuerto. De acuerdo con proveedores de RAN, las limitaciones de latencia en la comunicación RU-DU hacen que la distancia entre RU y DU no deba superar las 20 millas. En el escenario considerado esto no será un problema. La distribución de las antenas será la siguiente:



Ilustración 10. Distribución de antenas en el aeropuerto. (Fuente: Elaboración propia de la compañía)

En la tecnología 5G, existen dos modos principales de operación: *standalone* (SA) y *no standalone* (NSA)[26].

- En el modo autónomo (SA), la red 5G funciona de forma independiente, no requiriendo la ayuda de redes de generaciones anteriores como la cuarta generación. Esto significa que todas las funciones esenciales de la red, como la autenticación y la gestión de movilidad, son manejadas por la propia red 5G. Este modo de operación está diseñado para proporcionar una experiencia completa de 5G, con todas las ventajas que la tecnología 5G ofrece.
- En el modo no autónomo (NSA), la red 5G se basa en una red 4G previamente establecida para manejar ciertas funciones, como la autenticación y la gestión de movilidad. Este modo de operación está destinado a brindar una transición suave desde 4G a 5G y permite un despliegue más rápido de los servicios 5G.

Dado que el proyecto busca una transición completa y no gradual hacia las tecnologías 5G, el estándar 3GPP 5G NR (*New Radio*) empleado será 5G SA.

7.3 AZURE PRIVATE 5G CORE

El núcleo de paquetes 5G será el cerebro que controle y conecte la red y los componentes de la RAN a la red principal y a Internet. Además de las funciones de redes virtualizadas, el núcleo desempeña funciones esenciales entre las que se encuentran la autenticación y autorización de usuarios con acceso a la red, el control de políticas y cargos, gestión de datos y de seguridad entre otras tareas.

El producto propuesto en esta solución es *Azure Private 5G Core* (AP5GC)[27]. Se trata de un servicio ofrecido por Microsoft Azure, que permite a los clientes implementar una red de núcleo 5G privada dentro de la plataforma de Azure. Esto significa que en lugar de utilizar una red 5G pública proporcionada por un operador de telefonía móvil, los clientes pueden implementar su propia red de núcleo 5G en Azure, sobre la cual tienen un control absoluto. El servicio brinda las mismas funcionalidades y capacidades que una red de núcleo 5G pública, tales como la autenticación y autorización, la gestión de movilidad y el control de políticas y tarifas. También permite a los clientes implementar funciones adicionales de red, como el *slicing* de red y las funciones de red virtualizadas (VNFs), sobre la red de núcleo 5G privada.

La finalidad de *Azure Private 5G Core* es proporcionar a los clientes una solución de funciones de red en contenedores (CNF por sus siglas en inglés, *Containerized Network Functions*) nativa de la nube que tiene mayor flexibilidad y autonomía en sus implementaciones 5G que otras VNFs, permitiéndoles crear soluciones 5G personalizadas que cubran sus necesidades específicas.

AP5GC es un elemento de software en el que cada una de las instancias del núcleo, se despliega como un clúster de Kubernetes (AKS) que se conecta a *Azure Arc* y que está compuesto por varias máquinas virtuales (VM) en un mismo servidor físico Azure Stack Edge. AP5GC es compatible tanto con *Azure Stack Edge*, como con servidores de borde de terceros que ejecuten *Azure HCI* (*Hyperconverged Infrastructure*) y *Arc Enabled Kubernetes*.

Dado que los elementos de la red pueden virtualizarse, se podrían desplegar los elementos vRAN y AP5GC en un mismo servidor. En caso de que se emplee un emplazamiento específico para AP5GC este podrá gestionar 25 Mbits/s.

7.4 COMPUTACIÓN EN EL BORDE

Los equipos de computación Edge son aquellos que se emplean para brindar funcionalidades de cálculo, almacenamiento, redes y aprendizaje automático acelerado mediante hardware en una localización Edge, en este caso, instalaciones aeroportuarias. La configuración de la solución propuesta es compatible con *Azure Stack Edge* o con un dispositivo alternativo de un tercero que sea capaz de ejecutar el *Azure Stack* requerido.

- El Dispositivo/Servidor *Azure Stack Edge* es un equipo gestionado por Azure que se ofrece en forma de hardware como servicio. Este equipo está diseñado para el cálculo y el aprendizaje automático acelerado mediante hardware en localizaciones periféricas para cargas de trabajo de IoT e IA.
- En cuanto al Servidor de un tercero habilitado para Arc, se trata de un equipo de computación Edge de un tercero. Los servicios y componentes propuestos en esta configuración requieren que el dispositivo de terceros incluya los servicios de habilitación *Azure HCI* y *Azure Arc* y el tiempo de ejecución *IoT Edge*. Se trata de soluciones solo de software que pueden desplegarse en hardware de terceros.

No existen grandes diferencias en los componentes/servicios de la configuración tanto en la nube como en el borde, ya que el equipo de hardware alternativo de un tercero (servidor con *Azure Stack HCI + Arc Enabled AKS*) es capaz de alojar tanto las cargas de trabajo del tiempo de ejecución de *IoT Edge* como parte del *software* vRAN (DU) y AP5GC.

En el escenario de *Heavy Edge Compute*, se propone que las inferencias de vídeo en tiempo real, alertas y otras cargas de trabajo de procesamiento tengan lugar dentro del tiempo de ejecución IoT[28]. Este último es un conjunto de componentes de software que se despliega en el dispositivo IoT y permite que realice las tareas de procesamiento en el borde en lugar de enviarlos a la nube, es decir, que puedan recibir código para ejecutarlo en el borde y comunicar resultados. Estos componentes incluyen un sistema operativo de tiempo real, un administrador de módulos y un agente IoT.

- El sistema operativo es responsable de la administración de recursos del dispositivo IoT como la memoria, el procesamiento y el almacenamiento.

- El administrador de módulos se encarga de instalar, ejecutar y actualizar los módulos. Los módulos de IoT Edge son contenedores que se despliegan en los dispositivos IoT Edge a través del tiempo de ejecución IoT Edge y se ejecutan localmente en estos dispositivos para realizar tareas específicas como la recopilación de datos de los sensores y la toma de decisiones.
- Los agentes IoT proporcionan centros de mensajería o *messaging hubs* para los módulos que se ejecutan en el borde, los datos que se recogen de los sensores y la nube *Azure IoT Hub*.

Entre los elementos del *Edge*, cabe destacar el *Custom Video Module* que analiza los videos en tiempo real empleando un modelo de IA de inferencia de vídeo. Aplica técnicas específicas como redimensionamiento, seguimiento en tiempo real y personalización de imágenes a una entrada (flujo de vídeo) para obtener una salida (JSON). La personalización total permite a los expertos en inteligencia artificial diseñar y aplicar cualquier forma de inferencia y seleccionar el modelo que mejor se adapte a sus necesidades. Una solución alternativa podría ser *Nvidia DeepStream*[29], que, formando parte del programa Nvidia Metropolis, ofrece un SKD (*Software Development kit*) para crear y implementar aplicaciones de inteligencia de visión de manera eficiente. Una de sus principales ventajas es su capacidad de adaptarse a diferentes plataformas y escalabilidad. Además, su capacidad de funcionar tanto en dispositivos locales, en el borde como en la nube es una gran ventaja.

En el *Edge* se encuentra también *Azure Stream Analytics*, un motor de procesamiento para el análisis en tiempo real de datos de flujo rápido. Permite detectar patrones y relaciones entre datos de diversas fuentes. Los resultados obtenidos se utilizan para desencadenar procesos, como alertas o almacenamiento de información. Así, en el escenario de aeropuertos, es el encargado de recibir los datos que pasan por *Azure Digital Twins*, con el fin de analizar las propiedades que se han actualizado. Utiliza un lenguaje basado en SQL (*Structured Query Language*) para realizar operaciones con diferentes agregaciones de datos, permitiendo la aplicación de lógicas de negocio, la adición de información y la búsqueda de datos relevantes para el negocio. Con las consultas realizadas y los datos analizados, se llevan a cabo acciones para adaptar el sistema en base a los resultados obtenidos.

Como dispositivo se ha elegido el Lenovo ThinkEdge SE450[30], un dispositivo de terceros capaz de ejecutar *Azure Stack HCI* y *Arc-enabled*.

Por otra parte, en el escenario de HUE, las cargas de trabajo tienen lugar en dispositivos informáticos acelerados por IA que se encuentran directamente conectados a las cámaras. La inferencia de flujos de vídeo en el dispositivo antes de ser transmitidos a la red de usuarios (UE) permite una reducción en el ancho de banda requerido en la red de acceso de radio (RAN) y elimina la necesidad de la mayoría de los servidores adicionales agrupados en un lugar específico. Esto contribuye a una mayor eficiencia en términos de recursos y una reducción de costos asociados a la infraestructura.

7.5 PROCESO EN LA NUBE

A continuación, se presenta el proceso que tiene lugar en la nube:

- Almacenamiento de datos. Se emplea *Azure Data Explorer* para almacenar los datos que se emplearán en el entrenamiento de modelos y obtención de *insights*. En este caso, *Azure Data Explorer* está conectado directamente a *Azure Digital Twins* para almacenar y recuperar datos fácilmente y obtener información contextual basada en las relaciones del mundo real entre los componentes. Los sensores pueden cambiar debido a las lógicas de negocio aplicadas, por lo que los hallazgos también pueden variar dinámicamente. *Azure Data Explorer* es la opción principal para el almacenamiento, ya que puede almacenar grandes cantidades de datos y proporcionar *insights* complejos casi en tiempo real.
- Obtención de *insights*. Se consigue información relacionada con el momento y localización en el que se dispara una alarma en el aeropuerto además de las implicaciones de la misma empleando la conexión entre *Azure Data Explorer* y *Azure Digital Twins*. Este último funciona como un organizador de datos y proporciona ayuda con la gestión de los *insights* obtenidos. Es una Plataforma como Servicio (PaaS del inglés Platform as a Service) que crea gráficos gemelos basados en modelos digitales de entidades reales. Permite así ofrecer

contextualización y por tanto en el caso de uso es empleado para obtener información sobre las alertas disparadas y sensores afectados. Proporciona además la información que se almacena en *Azure Data Explorer*.

- Entrenamiento de modelos. Es una parte fundamental del sistema y, aunque los modelos se ejecuten en el borde, su entrenamiento tiene lugar en la nube. Para ello se emplea *Azure Machine Learning*, un servicio en la nube que permite la gestión y aceleración de todo el ciclo de vida de los modelos de IA. Se encarga del control del modelo desde los datos con los que entrena, el propio entrenamiento hasta el despliegue del modelo. *Azure Data Lake* actúa como un repositorio para todos los vídeos e imágenes capturadas por las cámaras de los aeropuertos, los cuales varían significativamente en duración. Además, se puede almacenar cualquier otra información relevante si es necesario. Conectado a *Azure Machine Learning*, se crean conjuntos de datos a partir de los datos almacenados que posteriormente son utilizados para el entrenamiento de modelos.

Es importante desatacar la función de *Azure IoT Hub*, un servicio de backend en la nube que permite conectar varios dispositivos a través de la red, permitiendo así la extensión de la solución desde el borde hasta la nube, incluyendo autenticación para cada dispositivo, gestión integrada de dispositivos y escalabilidad masiva según el número de mensajes recibidos. Funciona como una puerta principal de envío de datos a la nube. Los datos enviados desde el borde a la nube están protegidos mediante el estándar de seguridad *Transport Security Layer* (TLS) que garantiza la privacidad e integridad de los datos transmitidos de modo que se autentican y cifran los datos para asegurar que la lectura y escrito de comunicaciones solo se permite a partes autorizadas.

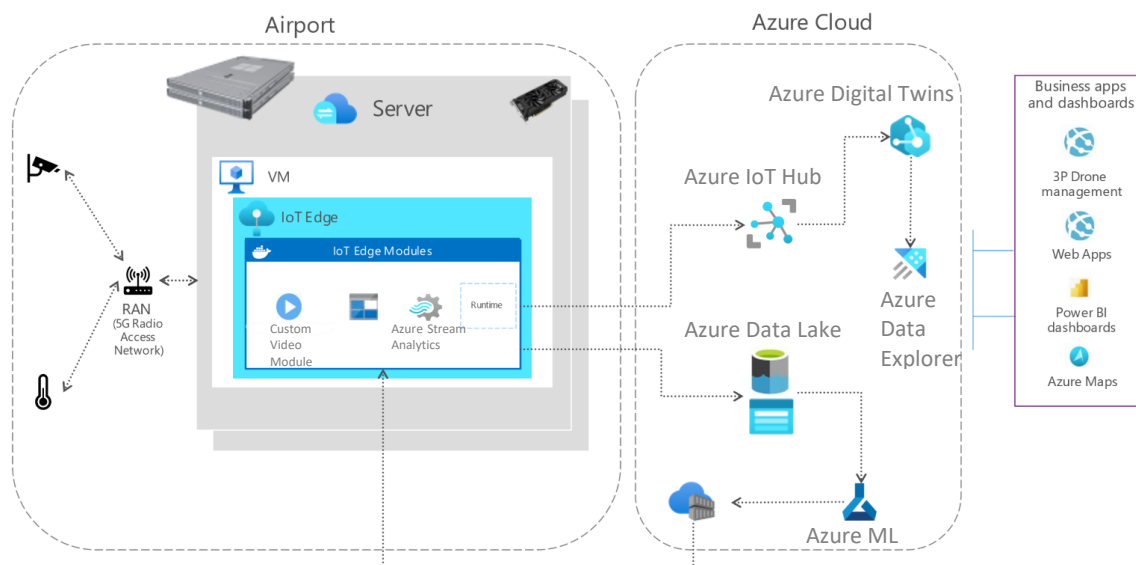


Ilustración 11. Esquema de alto nivel de la arquitectura. (Fuente: Elaboración propia de la empresa)

8 ANÁLISIS ECONÓMICO

El presente apartado explora el valor de las distintas tecnologías empleadas en la arquitectura de los casos de uso (5G, MEC, ecosistema Azure y herramientas de IA). Además, se presenta un análisis de los componentes de *software* y *hardware* que conforman dicha arquitectura.

Con este objetivo se llevó a cabo un análisis de Total Cost of Ownership (TCO) que incluye todos los gastos de capital (CapEx) y gastos operacionales (OpEx) durante un periodo de cinco años. El primero incluye todos los costes de adquisición e instalación de dispositivos y soluciones de software desarrolladas. Por su parte, el OpEx agrupa los costes de mantenimiento, hardware como servicio (HaaS) y software como servicio (SaaS) durante los cinco años.

En cada escenario ha de tenerse en cuenta los elementos específicos que apliquen pues aspectos como el tipo de eventos, topología del aeropuerto, la escalabilidad de la red, el número de dispositivos a conectar y la capacidad de computación necesaria, entre otros, son factores que variarán de un escenario a otro.

El escenario de seguridad perimetral se consigue combinando dos estrategias:

- Instalación de cámaras fijas de 1080p en toda el área perimetral, que se conectan inalámbricamente a través de la red 5G para proporcionar una vigilancia constante de todo el perímetro. Estas cámaras garantizan una vigilancia estática las 24 horas del día, los 7 días de la semana
- Implementación de una medida dinámica adicional que consiste en drones o robots sobre ruedas equipados con cámaras. Estos dispositivos permiten una capacidad de vigilancia adicional y pueden patrullar de forma aleatoria y moverse dinámicamente a lo largo de diferentes partes del vallado para ayudar a detectar eventos específicos en secciones concretas y evitar la manipulación de las cámaras, entre otros escenarios

Por su parte, el escenario de seguridad en pista se consigue con drones que incorporan cámaras 4K y escanean la pista entre despegue y aterrizaje.

8.1 DISTRIBUCIÓN DE COSTES

El TCO se elaboró distribuyendo los costes en siete “capas” de la arquitectura que van de *edge* a *cloud*.

- Los dispositivos de borde son aquellos que realizan la vigilancia del aeropuerto, tales como cámaras o drones, así como todos los componentes que permiten la conexión de estos dispositivos a una red 5G
- La computación de borde incluye los dispositivos de *hardware* informático (servidores) ubicados en el borde. La cantidad de capacidad de computación requerida en el borde puede variar en función del escenario en cuestión. Este caso de uso incluye dos tipos de computación de borde:
 - *Heavy edge compute* o computación de borde pesada, en la que los modelos de computación/AI se ejecutan en servidores en el borde de la red y cerca de los dispositivos (por ejemplo, en el mismo aeropuerto). En este escenario los vídeos de la más alta calidad (generalmente, desde 1080p hasta 4K) se transmiten a través de la red inalámbrica y están disponibles para los servidores periféricos. El redimensionamiento de la imagen se lleva a cabo justo antes de la inferencia, si es necesario. Estas transmisiones continuas de vídeo requieren una red de alta capacidad, pero con menor infraestructura de bordes y cámaras más simples.
 - *Heavy user equipment* (HUE), en el que la capacidad de computación se encuentra en los propios dispositivos de borde (por ejemplo, en una GPU dentro de la misma cámara) o conectada a ellos (por ejemplo, a través de un dispositivo NVIDIA ORIN conectado a la cámara). En este diseño, las cámaras de vídeo se agrupan mediante conexiones mediante medio físico, como cableado, a un dispositivo de pasarela informática y se conectan a una red de comunicaciones 5G a través de un dispositivo encargado de enrutar y gestionar el

tráfico en la red 5G. La pasarela se encuentra ubicada detrás del componente 5G del equipo de usuario (UE). Esta pasarela cuenta con capacidades de computación con aprendizaje automático o *machine learning* e inteligencia artificial aceleradas por medio de hardware específico. Se encarga de realizar la inferencia de vídeo de inteligencia artificial para las cámaras agrupadas y de enviar la información de los datos inferidos a la red. Los flujos de vídeo pueden ser retransmitidos opcionalmente a la red inalámbrica mientras se transmiten o reducen en tamaño. Esto garantiza que la red sea mucho más escalable, pero implica cierto cableado necesario para su configuración y funcionamiento.

- La infraestructura de radio 5G incluye todo el hardware, software y servicios necesarios para implementar una red 5G. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cualquier red 5G privada requerirá la conectividad WAN y el despliegue de fibra, cuyos costos pueden variar ampliamente y no se incluyen en el análisis de costos presentado
- El servicio gestionado de red de extremo a extremo (E2E) incluye el mantenimiento diario de la red 5G y todos los dispositivos de borde
- Las funciones de red de borde (5G Packet Core) abarcan el núcleo privado 5G de Azure (AP5GC)
- Los servicios y aplicaciones de borde incluyen el costo del software necesario, como *Azure HCI* y los servicios *Arc Enabled*, así como todos los servicios de borde requeridos, como *IoT Edge* y *Stream analytics*
- La nube incluye todos los servicios en la nube, aplicaciones y requisitos de computación en Azure.

8.2 PARÁMETROS

Existen algunas variables que deben ser considerados al realizar el análisis y que, si se decide llevar a cabo el mismo en un aeropuerto diferente, pueden ser modificadas.

- Longitud del perímetro: el caso de uso en cuestión considera un aeropuerto de 21 kilómetros de perímetro con forma rectangular modelada siguiendo el ejemplo del aeropuerto de Heathrow
- Número de dispositivos:
 - La cantidad de dispositivos de borde empleados en el escenario de seguridad perimetral (cámaras 1080, computación HUE...) está determinada por la longitud del perímetro
 - Se han de considerar también cámaras 4K y drones adicionales que serán empleados en la vigilancia del perímetro y dependerán de distintos parámetros operacionales
 - El número, longitud y ancho de las pistas determinará el número de dispositivos de borde (cámaras 4K y drones) empleados en el escenario de seguridad en pista

Considerando los dos escenarios se ha calculado que se necesitan 221 cámaras fijas 5G 1080 para la seguridad perimetral y 5 cámaras 4K y drones en total para los dos casos de uso. La combinación de cámaras 4K y drones se emplea con fines de precisión, en aquellas operaciones que requieren imágenes detalladas tomadas desde un objeto en movimiento.

- Infraestructura de red 5G: el mínimo está fijado por el perímetro del aeropuerto. No obstante, se incorpora capacidad adicional en función de la cantidad de datos que generen los dispositivos y la escalabilidad de la red deseada. Se consideran dos opciones de Red de Acceso de Radio (RAN). Ambas soluciones tienen como propósito maximizar la eficiencia y la capacidad de las redes móviles, permitiendo a los usuarios acceder a servicios de voz y datos de calidad superior en cualquier lugar y en cualquier momento.
 - ORAN distribuida, en la que la radio base (antenas y equipos de radio) se distribuye a lo largo de la red, en lugar de ser concentrada en una única ubicación central. Esto permite una mayor flexibilidad y eficiencia en la distribución de la capacidad de la red y en la gestión de las llamadas y los datos
 - All-in-one ORAN (AiO), todas las funciones de la radio base se integran en un solo dispositivo o elemento de red. Esto permite una

mayor simplicidad y reducción de costos al reducir la cantidad de equipos necesarios para el funcionamiento de la red. No obstante, esta solución puede ser menos flexible y menos escalable que una red distribuida, ya que todas las funciones de la radio base están integradas en un único dispositivo

- Tipo de computación de borde: en este escenario, se tienen en cuenta dos opciones que son computación de borde pesada (*Heavy edge compute*) y equipo de usuario pesado (HUE). Utilizar *Azure Stack Edge* (ASE) como opción de computación de borde pesada es más costoso que adquirir un dispositivo de servidor de borde de terceros. Por tanto, en este caso la opción de computación de borde pesada siempre es un dispositivo de terceros (3P).
- Alta disponibilidad (HA): dado que ambos casos de uso son considerados fundamentales para el correcto funcionamiento del aeropuerto, se ha incluido la alta disponibilidad por defecto. Con este objetivo. Se ha incrementado en un 20% la capacidad de cómputo en el borde de terceros y se ha incorporado un 5% extra de capacidad que responde a una tasa de fallos típica de los dispositivos de borde y la computación HUE. El número de dispositivos anteriormente mencionado ya tiene en cuenta estas consideraciones
- Cómputo en la nube: es empleada para entrenar los modelos que se desplegarán posteriormente en la computación de borde. Como se ha mencionado anteriormente, la latencia y ancho de banda es crítica en ambos casos de uso, por tanto, no resulta eficiente enviar las grabaciones de vídeo a la nube para la detección de cualquier incidente en la valla o en la pista. Una configuración de este tipo no satisface los requisitos de latencia, ancho de banda y rendimiento, y resulta aún más costoso subir todo el vídeo y procesarlo en la nube debido al elevado volumen de tráfico. Por lo tanto, el costo de la computación en nube, junto con sus servicios y aplicaciones asociados, será constante a lo largo de todos los escenarios de costo total de propiedad

8.3 TCO Y ASIGNACIÓN DE COSTES

El siguiente apartado muestra el coste total de propiedad (TCO) y la distribución de costes establecida para cuatro escenarios distintos. Estos resultan de la combinación de dos parámetros

- Configuración de la red 5G: ORAN distribuida frente a AiO
- Tipo de computación de borde: Computación de borde pesada de terceros (*3P Heavy edge*) frente a HUE

Escenarios		3P HE - AiO	3P HE – Distr.	HUE - AiO	HUE – Distr.
Dispositivos de borde	Cámaras 5G 1080, cámaras 4K, drones y Modems 5G para drones	Sí	Sí	Sí	Sí
Computación de borde	3P Heavy Edge cómputo y mantenimiento	Sí	Sí	No	No
	HUE ORIN, HUE 5G Modems Y HUE cajas rugerizadas	No	No	Sí	Sí
	3P Edge compute-drones, 3P Edge compute Mantenimiento-drones, Azure Stack Edge	Sí	Sí	Sí	Sí
Infraestructura 5G	ORAN distr.: RU, FH Switch, DU, CU, DU+CU SW, despliegue de la red y mantenimiento	No	Sí	No	Sí
	ORAN AiO: Dispositivo + SW, despliegue de la red y mantenimiento	Sí	No	Sí	No

	Azure Express Route y VPN Gateway	Sí	Sí	Sí	Sí
Servicio gestionado de red E2E		Sí	Sí	Sí	Sí
Funciones de red de borde	Azure Network Function Manager y AP5GC	Sí	Sí	Sí	Sí
Servicios y aplicaciones de borde	IOT Edge, Custom video Module, Function Apps, Azure Blob Storage on IoT edge, Azure Stream Analytics on IoT edge	Sí	Sí	Sí	Sí
Nube	Virtual Machine Learnig, Azure IoT Hub, servicios de aprovisionamiento de dispositivos IoT, Azure Functions, Azure Digital Twins y Azure Data Explorer	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla 1. Componentes del análisis TCO

8.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

En primer lugar, se exponen los resultados del TCO. Cabe destacar que no hay diferencias significativas entre los cuatro escenarios. Todos ellos rondan los 2 millones de dólares siendo el menos costoso el escenario de *Thrid Party Heavy Edge with All in One* y el más caro el de *HUE with Distributed ORAN*.

Lucía Urbelz López-Puertas
Análisis económico

3P HE - AiO	3P HE – Distr.	HUE - AiO	HUE – Distr.
\$1,848,699.52	\$2,017,524.52	\$1,866,378.52	\$2,035,203.52

Tabla 2. Resultados del TCO en \$

La distribución se muestra en la Ilustración 12, como era de esperar, los costes se mantienen constantes en todas las capas de la arquitectura exceptuando la infraestructura de red y la computación en el borde.

Los costes relacionados con los servicios, aplicaciones y computación en la nube son constantes dado que en los cuatro escenarios esta es empleada exclusivamente para el entrenamiento de modelos. Lo mismo sucede con los costes relacionados con los dispositivos de borde, cuyo número depende de los parámetros fijados anteriormente y no del escenario en cuestión. Por último, los costes de red AP5GC están determinados por el flujo de datos, que a su vez depende del número de dispositivos de borde, de modo que el rendimiento es el mismo independientemente del tipo de red 5G empleada.

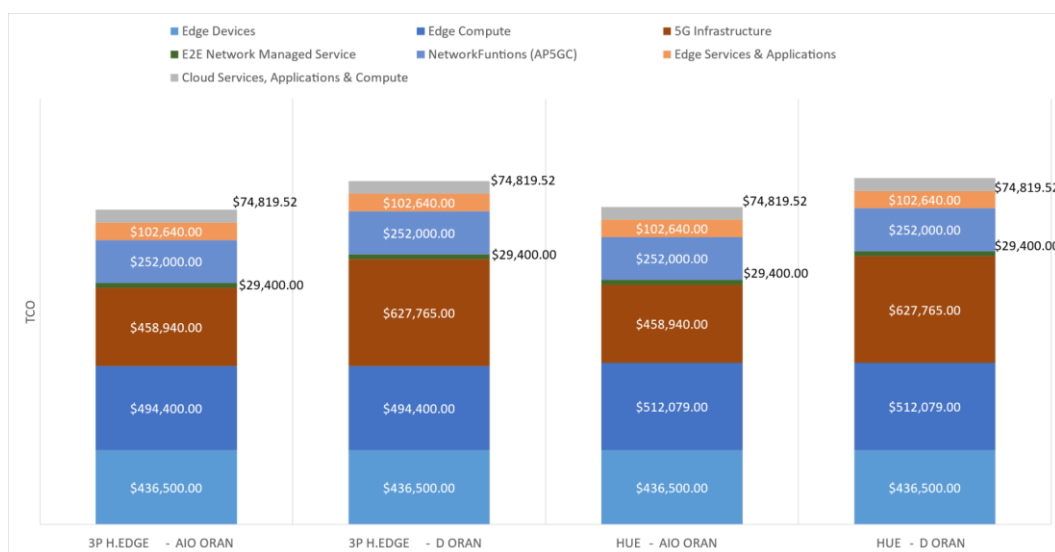


Ilustración 12. Distribución de costes totales. (Fuente: Elaboración propia de la empresa)

Con el fin de extraer conclusiones, se procede a realizar un análisis en detalle de los costes de la infraestructura de red y de la computación en el borde.

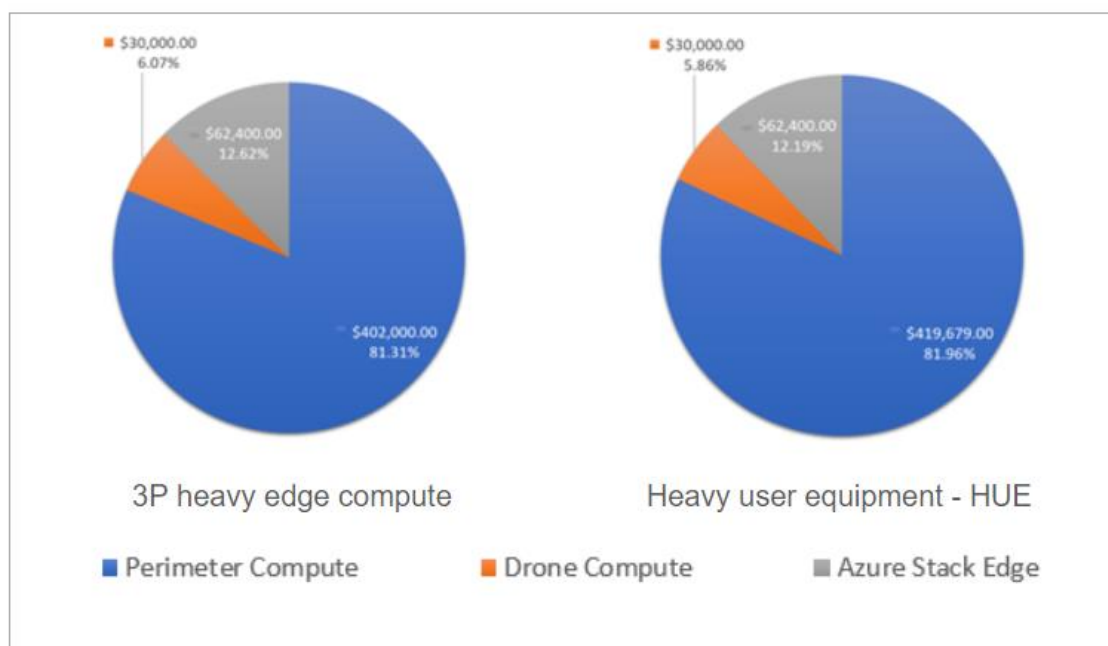


Ilustración 13. Distribución de costes de computación en el borde. (Fuente: Elaboración propia de la empresa)

El estudio comparativo revela que, para un periodo de 5 años, el coste del escenario de HUE es de \$419,700, un 4% superior frente al de computación pesada con terceros cuyo coste es de \$402,000. La distinción que se hace aquí se refiere específicamente a la seguridad perimetral, ya que la estructura de seguridad en pista en ambos escenarios es idéntica, lo que conlleva un costo equivalente. Aunque en la Ilustración 13 se observa un gasto relacionado con *Azure Stack Edge* (ASE), este se debe a un requisito en cuanto a la capacidad de cálculo para el correcto funcionamiento de AP5GC.

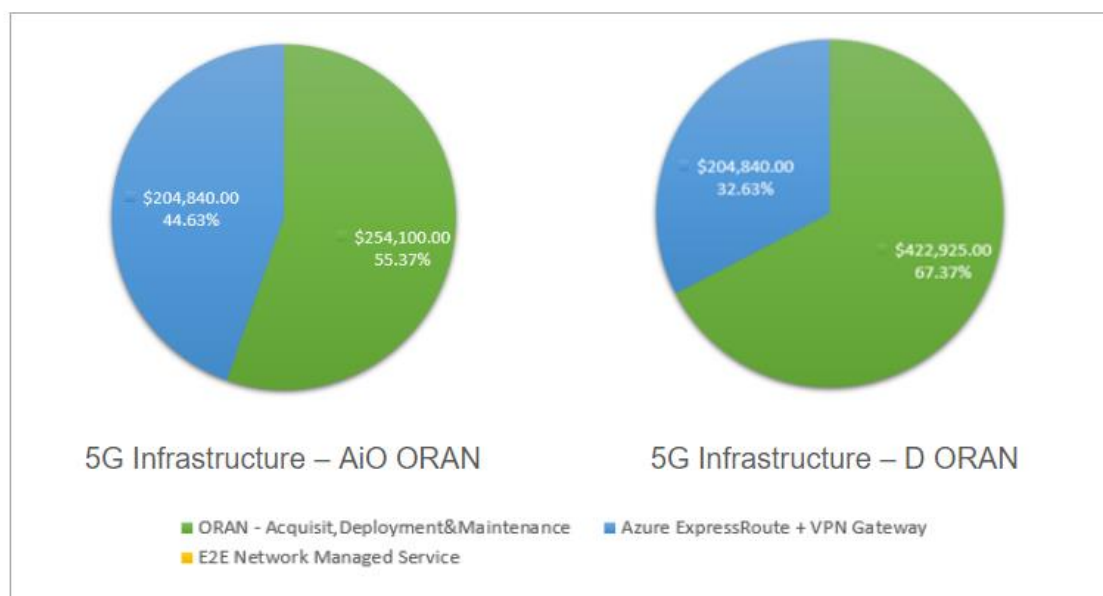


Ilustración 14. Distribución de costes de la infraestructura de red 5G. (Fuente: Elaboración propia de la empresa)

Por otra parte, el análisis detallado de los costes relacionados con la infraestructura de red 5G nos permite extraer conclusiones significativas pues se puede apreciar que el coste de la ORAN distribuida (\$254,000) es un 66,5% inferior al de la AiO ORAN (\$423,000). Esta diferencia es el motor principal de la desigualdad de costes en los cuatro escenarios.

Es importante tener presente que estos costos no incluyen la eventual instalación de fibra óptica, en caso de ser necesaria. El costo de implementar la fibra óptica es sumamente difícil de estimar, incluso en un escenario de referencia. Por lo tanto, no se ha considerado en estos costos. Sin embargo, se recomienda tener en cuenta este aspecto al momento de planificar un escenario específico. Asimismo, es importante mencionar que los costos de infraestructura 5G varían significativamente en función de la topología y requerimientos específicos de cada aeropuerto, por lo que estas cifras deben ser consideradas como una estimación válida, no como una valoración exacta.

8.4.1 COSTE DE LA INFRAESTRUCUTRA DE RED 5G

El presente apartado evalúa el coste de la instalación única de la red 5G. Los dos factores principales que determinan el costo y tamaño de esta son el alcance geográfico y la capacidad de manejo de datos. El alcance se refiere a la extensión del área que debe

cubrir la red, mientras que la capacidad de manejo de datos se refiere al rendimiento requerido para manejar la cantidad de información necesaria.

En el caso de uso en cuestión, el alcance proporciona una capacidad de red de aproximadamente 7 Gbps que es suficiente para cumplir con los requisitos de seguridad del perímetro y la seguridad de la pista, con un total de 1,9 Gbps. Además, esta capacidad mínima de la red permite la implementación de escenarios adicionales, como el control de terminales o la vigilancia de equipajes, utilizando hasta 700 cámaras 5G 1080 adicionales.

En lo referente al coste, de acuerdo con la Ilustración 12, la infraestructura de red 5G mínima para cubrir el área definida por todo el perímetro cuesta 627,700 dólares para D-RAN y 458,900 dólares para AiO-RAN, lo que hace que esta última opción sea más adecuada a nivel de costes para este escenario en particular.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que cambios en la extensión del perímetro o en la zona aeroportuaria pueden afectar estos costes. Por ello, se ha llevado a cabo una evaluación de los costes de la infraestructura de red en función de la longitud del perímetro.

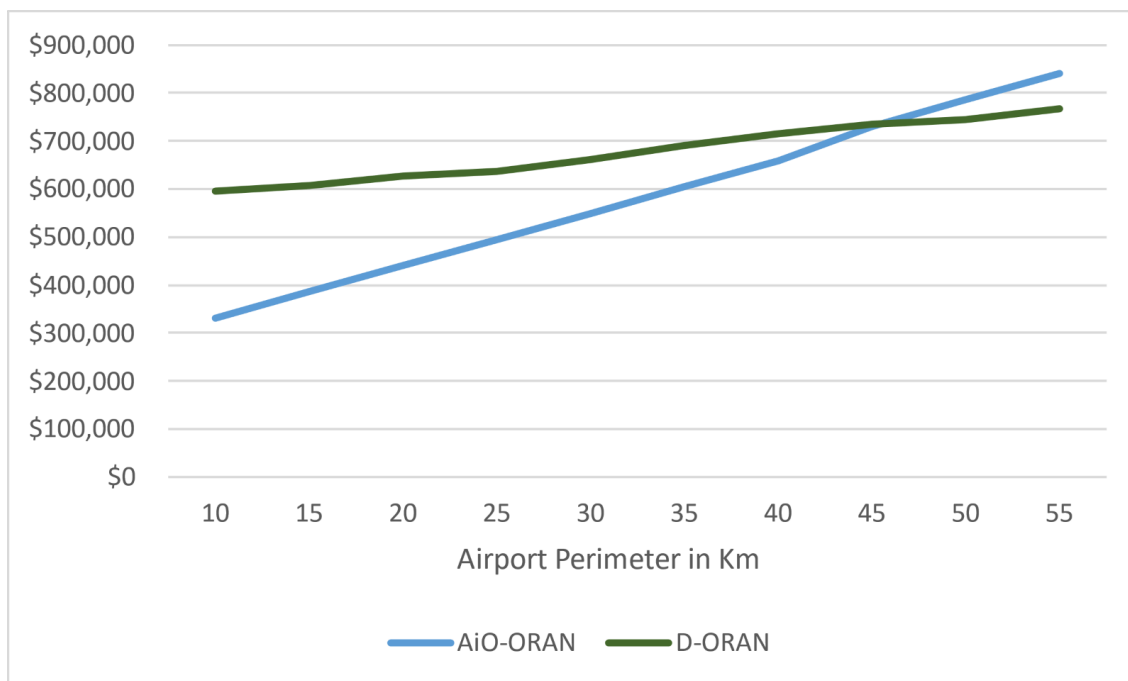


Ilustración 15. Coste de la infraestructura de red 5G en función de la longitud del perímetro. (Fuente: Elaboración propia de la empresa)

A medida que disminuye el alcance geográfico, la opción AiO parece ser más apropiada en términos de costos, sin embargo, a medida que se amplía el alcance, la opción D-RAN se vuelve más eficiente económicamente. Así, para alcances superiores a 45 km (o un área equivalente), la opción D-RAN parece ser la mejor alternativa.

Finalmente, cabe destacar que, además del coste, existen otros factores relacionados con la infraestructura de red 5G que deben ser considerados a la hora de elegir la tipología como son la escalabilidad de la red o el posicionamiento de las antenas.

8.4.2 COSTE DE LA COMPUTACIÓN DE BORDE

Los escenarios de seguridad perimetral y de seguridad en pista requieren dos tipos de cámaras diferentes: las de resolución 4K y las de resolución 1080p.

Las segundas son cámaras 5G de resolución 1080p que pueden ser empleadas en nuevos casos de uso como el control en terminales y el control de equipajes. Se evalúa a continuación el incremento en costes para los dos casos de uso principales según aumenta el número de cámaras.

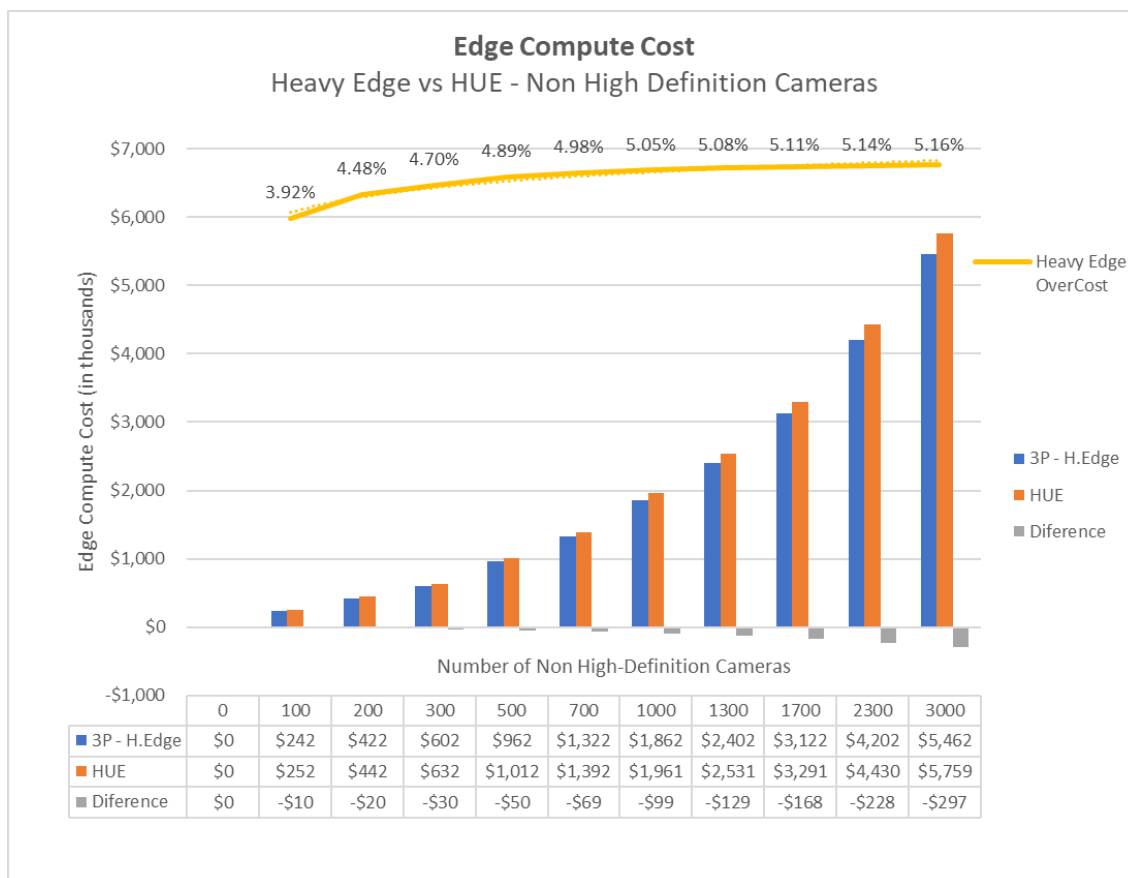


Ilustración 16. Coste de la computación de borde según el incremento de cámaras 1080p

El coste del escenario de HUE es ligeramente superior al de *Heavy Edge*, y esta diferencia aumenta en proporción al aumento del número de cámaras utilizadas. En concreto, la diferencia de costes pasa de ~\$10,000 si se emplean 100 cámaras a casi \$300,000 si el número de dispositivos asciende a 3000 cámaras. Se ha asumido que dichas cámaras son exteriores lo que conlleva una necesidad de protección de las mismas frente a condiciones meteorológicas adversas en el caso de HUE. En caso de que fueran interiores como las que se requieren en los escenarios de seguridad en la terminal o control de equipajes, HUE sería una mejor opción pues resulta entre un 20% (100 cámaras) y 25% (3000 cámaras) más barata que *Heavy Edge*.

En lo referente a las cámaras de alta definición, son cámaras 4K que se emplean en el escenario de seguridad en pista dada la necesidad de analizar objetos en movimiento. En este caso únicamente se emplea computación pesada y el incremento en costes es directamente proporcional al aumento del número de cámaras.

8.5 CONCLUSIONES DEL TCO

El análisis económico en cuestión se ha empleado para evaluar cuatro escenarios diferentes resultado de la combianción de dos parámetros: la configuración de la red 5G, que puede ser ORAN distribuida o AiO, y el tipo de computación de borde, que puede ser computación de borde pesada de terceros (*3P Heavy edge*) o HUE.

En primer lugar, en cuanto a la infraestructura de red, la elección entre AiO o ORAN distribuida dependerá del alcance geográfico. Por lo tanto, en instalaciones con un alcance reducido, se recomendará el uso de AiO, mientras que en aquellas con cuya longitud perimetral exceda los 45 km, la opción ORAN distribuida será la más económica.

En lo que respecta a la computación de borde, en principio la computación de borde pesada empleando terceros parece menos costosa. No obstante, se ha de tener en cuenta que esta conclusión se invierte si el escenario requiere cámaras de interior y que los avances tecnológicos están permitiendo nuevas alternativas de HUE en el mercado que hacen que la diferencia económica entre ambas opciones se reduzca significativamente.

La implementación de una infraestructura 5G estará justificada si se llevan a cabo varios casos de uso. En un aeropuerto mediano, la infraestructura 5G mínima necesaria para cumplir con los requisitos básicos de alcance perimetral permitirá la implementación de varios escenarios adicionales sin incrementar el costo de la infraestructura 5G. A medida que aumenten los requisitos de alcance, será más rentable llevar a cabo varios casos de uso desde el punto de vista económico.

9 CONCLUSIONES

9.1 IMPULSORES DE VALOR

Con objeto de justificar la inversión en la solución propuesta, se han de identificar los potenciales beneficios y ventajas clave que esta puede proporcionar al usuario final. Para ello es necesario identificar los impulsores de valor (*value drivers* en su traducción al inglés). Se han valorado las ventajas obtenidas con todos los casos de uso propuestos en la sección 4.1.2 ya que, como se adelantó en el apartado 8.5, el despliegue de varios de ellos será necesario para justificar la inversión realizada en la solución.

En el proyecto en cuestión se han agrupado dichos impulsores de valor en tres pilares fundamentales:

- Mejora y aumento de la seguridad
- Optimización de la eficiencia operacional
- Nuevas fuentes de ingresos

A continuación, se analizará en detalle los beneficios perseguidos por cada uno de los pilares, así como los puntos que justifican y prueban la capacidad de la solución para garantizar dichos beneficios.

9.1.1 MEJORA Y AUMENTO DE LA SEGURIDAD

Persigue la adopción de las capacidades que ofrecen la combinación de las tecnologías 5G y MEC para mejorar los sistemas de seguridad en aeropuertos. Los beneficios esperados son los siguientes:

- Reducción de la probabilidad de intrusiones de animales y personas en el aeropuerto
 - Reducción del riesgo de intrusiones mediante el uso de algoritmos de IA y cámaras de alta calidad para detectar interrupciones en el cercado en lugar de confiar en la precisión visual humana
 - Aceleración la respuesta a eventos críticos mediante la automatización del sistema sin depender de alguien que controle las cámaras

- Empleo drones para realizar patrullas aleatorias de forma que los intrusos no puedan anticipar su trayectoria
- Reducción de los incidentes relacionados con la manipulación de las cámaras de seguridad mediante técnicas de detección y alerta de alteraciones
- Disminución de la probabilidad de accidentes de avión y otros daños relacionados con la presencia de objetos extraños (FOD) en la pista
 - Mejora de la fiabilidad de las inspecciones de pista mediante el uso de drones equipados con cámaras de alta calidad capaces de detectar pequeños restos
 - Eliminación de puntos ciegos mediante el escaneo las superficies de la pista de manera redundante
 - Aceleración de la detección de residuos mediante el uso de modelos de IA que automatizan el procesamiento de imágenes
 - Mejora de la eliminación de objetos extraños en la pista mediante la generación de alertas geolocalizadas para el equipo de seguridad
- Mejora del seguimiento del equipaje y la detección de manipulaciones
 - Rastreo de bolsas y supervisión de operarios sin necesidad de cableado aprovechando las ventajas de las cámaras 5G y la IA
- Mejora de la seguridad en la terminal
 - Disminución de ataques terroristas y detección rápida de peleas mediante el empleo de cámaras 5G que identifiquen bolsas sospechosas o incidentes indeseables
 - Localización de las situaciones críticas y activación de alarmas gracias a la combinación de las tecnologías 5G con IA
- Optimización de la descarga de la telemetría de los aviones
 - Mejora de la descarga de datos de telemetría aprovechando la conectividad inalámbrica ultrarrápida 5G
 - Aceleración del tiempo de descarga de datos de los aviones aprovechando la mayor conectividad 5G para que los datos puedan descargarse tan pronto como el avión se encuentre dentro del área 5G

- Mayor rapidez en el envío de datos del avión a los servidores aprovechando la baja latencia 5G y las altas velocidades de transferencia de datos
- Descarga de datos en zonas donde la cobertura Wi-Fi es insuficiente gracias al gran ancho de banda 5G
- Conexión de los aviones a la red 5G propia de cada aeropuerto mediante tarjetas e-SIM y un sistema QR sin necesidad de instalar una SIM distinta para cada uno
- Optimización de la comunicación de alertas
 - Elaboración y comunicación de respuestas en tiempo real mediante la combinación de la inferencia de vídeo IA con la computación de borde (transcurre menos de un segundo entre el envío de la imagen desde la cámara hasta la recepción en el dispositivo de borde en un sistema que funciona 24/7)
 - Comunicación de latencia ultrabaja y fiable (URLL por sus siglas en inglés Ultra Reliable Low Latency)
 - Aumento del número de dispositivos (cámaras y drones) conectado a un único *router* (5G 100 veces más dispositivos en una misma área física que el 4G)
 - Reducción de interferencias con otras redes gracias a la fiabilidad de la red 5G en la que cada instalación ha de registrar el espectro que utiliza para evitar la colisión de redes
 - Aceleración de la reacción de los dispositivos ante eventos críticos acercando el aprendizaje automático y la lógica empresarial a las fuentes de datos con MEC. Esto se consigue gracias al funcionamiento del sistema de forma fiable cuando la conectividad es limitada y al aumento de la eficiencia del tráfico de red lograda con la priorización de datos enviados a la nube

9.1.2 OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA OPERACIONAL

Tiene como objetivo el incremento de la eficacia en las operaciones aeroportuarias mediante la optimización del tiempo, coste y recursos empleados. Las ventajas esperadas son:

- Mejora de la puntualidad y aumento de las operaciones aeroportuarias mediante la reducción del tiempo de respuesta
 - Agilizado de la comunicación de alertas aprovechando la baja latencia de 5G y MEC
 - Implantación de un sistema de inspección de pistas basado en drones con el fin de reducir el tiempo necesario para esta tarea
 - Automatización las rutas de inspección de pistas y los procesos de vigilancia mediante una API conectada a 5G
 - Reducción del tiempo necesario para la descarga datos de telemetría entre vuelos mediante la adopción de la red 5G
 - Aumento del número de dispositivos simultáneamente en funcionamiento a través de la red 5G
- Garantizado de las operaciones aeroportuarias en días con condiciones meteorológicas adversas
 - Logro tiempos de inspección adecuados
 - Reducción del cierre de pistas en días de condiciones meteorológicas adversas
 - Detección de hielo en la pista empleando drones en lugar de vehículos cuya conducción se ve dificultada en estos días
 - Mejora de la vigilancia del perímetro en estos días mediante cámaras de imagen de alta calidad
- Optimización de las operaciones aeroportuarias mejorando el control de personas
 - Desarrollo de un sistema de Inteligencia Empresarial (BI, por sus siglas en inglés *Business Intelligence*) para seguir los movimientos dentro de los aeropuertos e identificar aglomeraciones o peleas de personas

- Identificación de los puntos y líneas de congestión para lograr la mejora del tráfico de personas y facilitar las tareas de control de los operadores
- Reducción de los costes operativos
 - Reducción de la mano de obra necesaria para la seguridad de las pistas y las inspecciones de seguridad del perímetro mediante la sustitución de las patrullas humanas por un sistema 5G basado en drones
 - Disminución de la mano de obra implicada en la seguridad de las terminales y el control de equipajes aprovechando un sistema privado 5G con soporte MEC

9.1.3 NUEVAS FUENTES DE INGRESOS

Este pilar persigue aprovechar las soluciones 5G para fomentar el comercio en aeropuertos, mejorar la reputación de los mismos y monetizar la red. Los beneficios esperados son:

- Aumento de los ingresos aeronáuticos
 - Creación de un sistema de mantenimiento inteligente y más rápido mediante la reducción del tiempo de descarga y procesamiento de la telemetría de los aviones. Se propone una monetización de la red por medio del cobro a aerolíneas por la rapidez en la descarga de datos
- Aumento de los ingresos comerciales
 - Implementación de escenarios “*just walk in*” que permitan aumentar los ingresos comerciales y consecuentemente capturar un porcentaje de dichos ingresos
 - Monetización de la red 5G mediante el cobro a los comercios por el uso de la infraestructura
 - Aumento del gasto por pasajero gracias a la mejora de la seguridad en la terminal y el control de personas ya que, la reducción del estrés de los pasajeros en la terminal contribuirá al aumento de la probabilidad del usos de los servicios minoristas

- Fomento del control, los beneficios y la visibilidad de las tiendas minoristas
 - Disminución de los robos en tiendas mediante el seguimiento con cámaras de cada producto y cliente
 - Optimización de la organización de los productos en la tienda gracias a una información más precisa sobre los clientes
 - Incremento de las ventas gracias a la mejora de la experiencia de compra de los clientes por medio de la eliminación de colas y cajas y el ahorro en tiempo con la implementación de un sistema de autoservicio
 - Fomento del ahorro de mano de obra por medio de la eliminación de la necesidad de cajeros y la sustitución del personal necesario para el escaneo y recuento de inventario por cámaras
- Mejora de la reputación del aeropuerto
 - Aumento de la reputación del aeropuerto aprovechando el sistema de seguridad y protección en los escenarios *green-field* lo que permitirá a su vez el incremento del número de concesiones
 - Mejora de la reputación del aeropuerto gracia al aumento de la satisfacción de los pasajeros por medio de la mejora de la seguridad en la terminal, el seguimiento de equipaje y la reducción de aglomeraciones

10 ANEXOS

10.1 ENTREVISTA CON EL AEROPUERTO DE FRANKFURT

Esta sección recoge el transcrito de la entrevista con Leonard Scheepsma, *Senior Solution Specialist* en el aeropuerto de Frankfurt. Cabe destacar que el transcrito ha sido reducido para mantener exclusivamente la información relevante.

0:0:0.0 --> 0:0:32.10

Leonard Scheepsma

Just for the recording. So basically you know one of the drivers for Bonn Cologne airport was that the tenants on the airport, predominantly the parcel companies would require 5G connectivity at some point and the airport wanted to make sure that when that point was reached, you know that they could basically you know provide 5G connectivity services at a profit, right? So that that was one driver. The other driver was that there was already two years ago discussion about all the applications.

0:0:32.270 --> 0:0:48.220

Leonard Scheepsma

That you could possibly do on an airport. I mean, there's different categories of applications. Let's say, the internal housekeeping type of applications from which the the parameter fence inspection is one of. We talked about a runway surveillance with a drone.

You know, doing a real time video analysis, but there were also application categories like providing services to the large retail which is present on the airport. You can do passenger accounting at the queues, passenger accounting and security. So once you start thinking about what you can do on an airport when you have a 5G infrastructure, it's actually staggering. I mean there are so many things that you could.

0:1:25.130 --> 0:1:49.110

Leonard Scheepsma

We brought up the infrastructure. The infrastructure is based on a RAN radio access network which is called open ran. Open ran is a quite a new standard in the radio world. So that means that when we deployed it, it came with a lot of child's diseases. A lot of instability, the run vendor has been late a couple of times with the delivery of the various components and all that. So sometimes it has been quite a struggle.

0:2:1.920 --> 0:2:5.850

Cesar De la Torre Llorente

Who's the manufacturer of the overrun?

0:2:6.140 --> 0:2:7.410

Leonard Scheepsma

That is a Airspan.

0:2:36.670 --> 0:2:39.380

Leonard Scheepsma

The application that is currently built is focusing on the real time fence surveillance. So the fence surveillance is based on the fact that the European Union is asking airports for 24/7 observation of the fences. The reason for that is to prevent smuggling of drugs and weapons, especially the weapons are becoming very problematic over the last the last months because of all kinds of reasons, weapons flowing back into Europe from the east and all that and they want to make sure that that these are need not brought to airports or take it from airports you know so defense has to be intact. Now the way this typically works is that there's two guys who drive in a in a four wheel drive and they drive you know along the fence and it's very long. It's a couple of kilometres, right. And they do that.

Randomly couple of times per day. And that's a expensive and it's cumbersome. And to be really honest, it's a bit stupid as well, right? I mean, just driving along the fence.

0:4:4.780 --> 0:4:8.310

Leonard Scheepsma

Entity had a relationship with a robot fador called Robotnik. And Robotnick delivered, you know, a a robot which has a size of, yeah, I would say 1 1/2 meters wide or in length and then half a meter wide and maybe 75 centimeters high. It has four of every thick rubber wheels. And if every strong engine and a big back of batteries and that Robotnik is capable of driving along the fence, there is a little asphalt path or tiles. Actually, it's tiles, a path going along the fence like a walking path, it's not too white, but people can walk there and the robot is actually going to take that path to drive along the fence. It has a a 4G 4K camera installed, and the 4K camera is actually watching defense, and it is actually sending a live video feed back to a piece of AI, which is going to run on our hatch on our Azure stack hatch.

At the moment, it's debated whether we run the whole application on the stack edge.

0:5:15.360 --> 0:5:21.250

Cesar De la Torre Llorente

Why was decided to use this robot with on wheels instead of our drone for instance?

0:5:22.410 --> 0:5:51.500

Leonard Scheepsma

The robot was the most stable element to bring the camera close to the fence because the drone needs to get very, very close to the to the metal structure to actually see whether there's a disturbance or not. And secondly, you know, with bad weather, the drone will be a more difficulty than the robot, right cases of snow and wind and all that. The robots it's almost like a little tank, it's heavy and it's it will just follow its path.

0:6:2.890 --> 0:6:19.700

Leonard Scheepsma

At the moment, Microsoft is working with entity together. So entity development, people, Microsoft development, people from a team which is called CSE, custom software engineering are working together with entity to actually develop this. This AI based application which is then yeah we are still in the design phase so it's either going to run completely on the edge or it's going to be a hybrid where let's say the data acquisition part is running on the edge and the actual image comparisons and all that

happened in the in the cloud, that's something we are we are discussing about our preference is that the whole thing runs on the edge at the airport.

0:8:37.500 --> 0:8:43.840

Leonard Scheepsma

We started with proving that 5G was was viable.

0:9:33.540 --> 0:9:46.790

Leonard Scheepsma

And the other application we are currently looking into, although these are only kind of ideas on how to specify it is is a drone that would inspect the runway in between flights for debris, which could be leftover from the previous plane taking off as you might remember, the last Concorde flight actually crashed because there was a all kinds of junk on the on the runway and apparently and I didn't know this either, but apparently it happens quite frequently that airplanes taking off are losing.

0:11:6.470 --> 0:11:9.350

Jaime Perena

And how is the airport doing it today?

0:11:11.110 --> 0:11:39.440

Leonard Scheepsma

Today, actually I don't think there is any active monitoring other than when a pilot is saying hey guys, there is garbage on the track so that somebody can pick it away before the next airplane comes. So it is all that's a bit primitive and we want to see whether we can enhance that. But again you know this this is really future. I mean the first thing everybody is looking into is the fence variance and we move slowly from Cologne Bonn to Frankfurt.

0:18:45.390 --> 0:18:49.840

Leonard Scheepsma

That Frankfurt perimeter was about 25 kilometres of fence completely round.

0:18:47.760 --> 0:19:16.370

Jaime Perena

25 kilometers. Yeah, that, will make more sense. And so we were thinking about that there will be fixed cameras on the perimeter, right? And combining them with the robot on the drone on the on the Broadway.

0:19:15.890 --> 0:19:22.360

Leonard Scheepsma

The point with fixed cameras is that criminals know where they are, right? So they can find a way to circumvent the cameras, or maybe even sabotage them. And with the robots that has a random schema, and the robot is on the inside of the fence, so they cannot touch it either. And cameras are always something that, I mean you you see that with the speeding cameras as well, right? People just spray paint and don't work anymore. So yeah, there is a clear a selection made for this random robot.

0:24:3.880 --> 0:24:4.470

Jaime Perena
I mean when?

0:24:3.890 --> 0:24:5.700

Leonard Scheepsma
Yeah, definitely, definitely.

0:24:5.490 --> 0:24:8.120

Jaime Perena
Yeah. OK. So we will keep you in the loop.

0:24:17.160 --> 0:24:17.460

Jaime Perena
Yeah.

0:24:28.830 --> 0:24:30.210

Jaime Perena
Yeah, yeah, it's exactly that.

0:24:7.580 --> 0:24:37.10

Leonard Scheepsma
No, I will definitely be in be interested, you know, in, in, in how this develops. I think that for many things I would like to see use cases, but we don't have them. So in that in this sense you know I will be happy to help wherever possible and also review. But yeah, I mean yeah again you know we have to realize that that we are really in an incubation period here and that not not all data is available. I mean especially things that are business guys related. I mean you know we can we can list that I mean.

0:24:48.780 --> 0:24:49.150

Jaime Perena
Yes.

0:24:37.340 --> 0:25:7.680

Leonard Scheepsma
You mentioned already. You know we we have internal household type of things like defensive alliance. But I I mentioned Airbus, you know connectivity to aircraft which is another effect quite huge source of revenue because people like Abbas, they pay a lot of money for this data communication to local operators. You know if only a fraction of that could be handed over to the airport providing you know the 5G connectivity service that will be a tremendous source of income. You know we have all the retail stuff.

10.2 ENTREVISTA CON EL AEROPUERTO DE HEATHROW

Esta sección recoge el transcrito de la entrevista con Andrew Isenman, *Head of Technology* del aeropuerto de Heathrow. Cabe destacar que el transcrito ha sido reducido para mantener exclusivamente la información relevante.

0:0:30.700 --> 0:0:35.810

Andrew Isenman

In terms of the classical way of doing a runway inspection into the airport, that really is about using a human and a visual inspection. So we've we we think we've worked out the optimal speed for a vehicle to travel and the ability for the runway inspector who's not the driver, who's the passenger to be inspecting the runway for objects.

Elementary school sort of calculation that we do that we think at X miles an hour, the likelihood of an operator being able to spot something of a of a particular size is the calculation that sets the speed of the vehicle. The runway is of a fixed length and we take that amount of time out of our operating schedule in order to be able to do our runway inspections.

0:1:48.190 --> 0:1:59.470

Cesar De la Torre Llorente

What's typically the amount of time that you know the inspection is allowed to have in order to inspect what they run away.

0:2:1.110 --> 0:2:34.320

Andrew Isenman

I I do what I wouldn't know, but I can find out how long I mean it's airport specific.

What we do know is it whatever that time is, it's not quick enough.

And we know that there's operational performance to be gained by speeding up the runway.

Friendly drone technology transmits all of the relevant and signals to the same as an aircraft would, and the drone is is treated as a, in effect an aircraft movement in its own right. So the effort operations will go to the end of the runway, the plane. The last plane will clear. Drone will be deployed and it will sweep the wrong way with the set of high definition cameras. Once it's finished that sweep the video footage is watched in. It's near real time, but broadly speaking it's quicker than getting a vehicle onto the runway, drive it down and back.

We're basically using edge compute on the drone at the time to be able to do the object detection or, you know, support for the operator to be able to identify any particular threats. Now at the moment that's not regulated in the UK, so there's lots of work with the regulators and the Civil Aviation Authority and everything to in effect get that to be a standard. And in terms of what, how do we transmit to the data back? Well actually the volume of data that's coming back and the density of our 4G private 4G network at the moment means that actually and the coverage particularly around those sort of runway area since there's enough bandwidth within that 4G network because we can almost dedicate the entire network to that runway search while it's taking place. It's not a particularly congested network.

0:5:8.350 --> 0:5:15.460

Andrew Isenman

What that means in time? So it's somewhere between 30 and 40% per runway time saving in terms of being able to do that runway interaction.

0:5:18.490 --> 0:5:39.440

Jaime Perena

And the main value is time saving rather than cost saving. It's not like OK having people very expensive. So it's basically you cannot use the runways right? That's more costly.

0:5:39.120 --> 0:5:50.430

Andrew Isenman

So you've got to you've got to look at the individual use case for the airport in question. So Heathrow has a highly populated 2 runway airport and we've reached the capacity in terms of flights per day, we can do 1400 flights a day about Heathrow and we have to do a certain amount of inspections during the day. We are controlled by what time our field opens, what time the airfield closes, the physical space between aircraft and actually it's probably not about having more flights today. It's about more dealing with the impact of days where particularly where the conditions are affecting the volume of traffic that we can take through. So if 1400 days are ceiling 1300 a day is our average day in terms of arrivals and departures on a strong wind day, aircraft are separated by a not separated by distance, but they're controlled by the speed of the wind over the aircraft. So in a strong headwind an aircraft lands slower because the headwind is providing a certain amount of wind over the wing and the engine was supplementing the remainder in terms of forcing the other direction.

So on really strong wind days, our capacity, our ability to land aircraft comes down significantly and our ability to take off aircraft actually improves slightly because they take off quicker, but the net is that we're down and we might be down by you know 200 movements a day. So if a runway inspection is then taking some of that capacity out.

0:7:45.650 --> 0:7:46.80

Jaime Perena

Got it.

0:7:45.810 --> 0:7:49.520

Andrew Isenman

Take for us personally isn't airport, it's about quality of service.

0:7:55.110 --> 0:8:24.230

Andrew Isenman

And to delays basically to punctuality and so it improves punctuality, particularly on the days and then other weather conditions are snow so on and so forth. The more runway inspections, you know, you might be inspecting every 10 aircraft whether the runway's frozen, all of which can be done by an operator through a drain and through a camera. And but it's that ability to return back to service, the ability to maintain punctuality for us, but if you took something like Amsterdam Airport Schiphol think they got 7 runways there in the next Military field. They've got lots and lots of capacity. They just clear one, let them land on it and while they're doing that, they're checking the next one and they just move around the patch. Now they've got their own problems. Huge airfield, 20 minute commute. You know, taxi time from when you land to where you get there. You see it a lot in the US airports as well. Dallas is a similar sort of scenario where they don't have that problem. So the runway inspection problem will be postponed to the airport itself. It sits under location.

0:9:8.470 --> 0:9:18.680

Cesar De la Torre Llorente

Windy days when there's a strong wind that doesn't impact the drones because they are like a heavy enough to not be impacted.

0:9:19.560 --> 0:9:20.230

Andrew Isenman

They're not.

0:9:51.820 --> 0:10:13.790

Jaime Perena

And what are the things that you are inspecting? You're expecting objects, but you also say frozen so what are the things and where is this actually the thing you're looking for? You're looking for pieces of rubber you're using for what? There's water or ice on?

0:10:31.350 --> 0:10:50.720

Andrew Isenman

Like the two things, when you're talking about whether it's not really water, aircraft can operate perfectly well on a wet runway and mainly because actually the plane does a good job of plowing the water off as it comes past. That's the one of the advantages of a hot engine is that don't waste typically dry out quite well and then accumulation of snow.

So we are also everyday and we do what's called foreign object detection. It's bits that fall off aircraft. It screws, it's nuts, it's things that can damage to either be ingested into the engine or damaged the tiles.

0:12:55.90 --> 0:13:10.990

Andrew Isenman. And at the moment, private 4G is allowing us to do what we're doing. We're fortunate. I think with the drone thing, but there's a lot of edge compute that's taking place on the drone itself. I know and also a lot of decoding of the video before it comes back to us, so there's some bandwidth stuff that's been done to manage bandwidth going forward. And I could see the value to any airport in having a 5 private 5G network to be able to do all these bits and pieces.

0:13:37.890 --> 0:14:7.860

Jaime Perena

Now I guess especially I mean the key thing that you said is, OK, right now the, the network, you can fully dedicate a chunk of that to this. But if you start using the network for other things like for example downloading telemetry from the airplanes or using that for garbage, for logistics for any that using the put in heavy usage to the network and you wouldn't have that luxury of and then you might need to a new generation, right.

0:14:8.150 --> 0:14:22.290

Andrew Isenman

Yeah, the and the interesting challenge there is that in this infrastructure is a bit like building a a bridge particularly a non-toll bridge. You know the revenue gained from having that infrastructure put into place that has to be somewhat of a leap of faith with some of these technologies. It's not like where if I've got an extra taxi way, I can move more aircraft, more places, which means better punctuality, which means less fines,

which means it's a certain amount of money when you're putting in private 4G network, private 5G networks, but also other things like common data platforms, all of that sort of core infrastructure that you put into any sizable organization that's towards the niche end of the market or the newer end of the market, there's very hard to financially quantify why you would want to do that.

It's likely at Heathrow, we'll just get to a point where our 4G network is starting to get saturated, we'll lose some performance of some things that we want to do on the airfield and the business will go OK, well, we need that in order to be able to continue receiving the value we already have. It's incredibly hard to make a case. To put to say, why do that value up front? Because you can't put a number on it. If you do put a number on it, and particularly when it comes to revenue, then you're board will hold you to delivering that number. What is the return-on-investment financial return on investment for a private fee 5G network? It's hard to put a price on.

Let's say 5G is the capability we're looking at. We're gonna struggle to make a business case that says let's go and put 5G in because our executive are sitting here with their own objectives, thinking how do I increase my revenue per passenger? How do I decrease my OpEx per passenger? How do I meet my carbon agendas? How do I mitigate risk and the technology itself doesn't actually deliver it.

The business outcome that the executive are trying to achieve, so their business outcome that they may be trying to achieve is say let's say it's a 10% reduction in field operation stuff. So they want to make a staffing reduction. We can then build a case that says, OK, well, if we look at that through the lens of 5G. 5G will enable certain things to happen within our business that are going to enable to do that. So we might be able to go to use the person that does the runway inspection who also operates the drone. So that's a 50% reduction in that particular activity, which could lend yourself to, say, 5% of your overall total in terms of what you're looking to achieve. So here are sets of business outcomes, or here are set of things you could do when this technology was put into place, and then start describing both the financial and non terminal and benefits of doing that. And ultimately then describe what an end state would look like and if you build that entire value chain out, if an organization bills that file changed out or for company like Microsoft work with a company like us to build that value chain out to understand where that piece is, then you can start.

0:21:25.380 --> 0:21:48.670

Jaime Perena

Would you mind sharing a little bit on the perimetral security? How you doing this today? I think you mentioned you have some cameras, but you know you have any kind of also drone or pictures around there where the challenges you have where the needs and this is something that you feel like?

0:21:49.860 --> 0:22:13.840

Andrew Isenman

Yeah, and so not drones, we got banned drones. So what? What we don't want is drones anywhere near the perimeter of our airport. So we have some quite sophisticated anti drone technology that we use in the wake of Gatwick airports closure for many days

about 3 or 4 Christmases ago in terms of disruption that was going on in, in the airport. We use radio based detection whether that be LIDAR or whether that be.

So security isn't a physical thing, and it's certainly not as CCTV challenge. It's not something you can do just with CCTV, so we're typically using radio frequency type technologies to understand so light up in a good example where we can actually start working out where things are in the 3D space. And if things are not supposed to be there, I mean, there's some classic stuff, you walk in.

That's good, but it has to be a little bit more sophisticated than that. So it's that type of technology one of all things about Heathrow airport is particularly around the perimeter, and particularly because on top of the security detection technology, you also need the CCTV technology. You find a lot of power and and because you got a lot of power, then there's also a decent amount of data, you know, wired data capability that goes around airport, if that makes sense, because we've got to light the perimeter. We can't have parts of our perimeter fence that are not lit at any one period of time. If you go around and airport in the UK, you will typically find that all the way around the outside is lids 24/7, either by natural light or by by artificial light. So because all of that, I think the ability particularly to use devices that can be connected directly into fiber optics means that there isn't a need for that to be conducted over the air. We would have to consider the risk of anything like a 5G network and doing something like that because if someone accidentally or maliciously could affect that network? Then it would ultimately affect the overall security of the airfield. And that running critical services that would allow someone to get over the boundary of offence of a an airport would be it gives you someone's got the ability to switch it off or switch parts of it off or jam it or affect it. Whereas fiber optic cables localized, switching that sort of thing. It makes the switching on and off of the security much more localized. So you might lose a camera or you might lose a chunk, but you can deploy security officers that space and stand there. What we would have to protect against the threat of and five the 5G network going down. Because if 5G network went down, the cameras would go down. The security protection system would go down and it's not feasible to have a security officer at every part of a perimeter of the airport.

0:27:14.460 --> 0:27:44.550

Jaime Perena

Connected to what you are saying is OK, but right now you have a 4G infrastructure. How is that infrastructure look like? You have a maintenance, the radio access network. All that in House it's stimulated. You didn't say drones but any or people are going around the perimeter?

0:27:49.320 --> 0:27:51.150

Andrew Isenman

Drones no, we have a physical inspection process. We're not 100% reliant on that and we get a lot of protest activity at Heathrow and typically not actually linked to the carbon agenda, but typically more anarchist type organizations that hijack agendas to in order to be able to cause chaos, so you know we have had breaches of our security fences by protesters so on and forth. And so that is.

But the visual inspections are there to add an additional layer of security to see, well, who's lurking outside of our and perimeter? Who's taking a particular interest in the perimeter? Is there a car stopped in a? We typically don't have laybys, but we might

have a bus stop that's available and you find that the car is permanently, you know, spending 10 minutes in the bus lane. And as soon as the bus comes along, they move and then 10 minutes later, they're back and they're observing things. So you need to have a physical presence as CCTV and physical presence around an airport in order to be able to truly protect it.

0:35:52.550 --> 0:36:3.420

Cesar De la Torre Llorente

One question about the security of the perimeter like other airports are evaluating the the option of, you know like a using robots, like on wheels or other types of for doing like a patrol randomly across the perimeter. Do you think that's interesting?

0:36:16.480 --> 0:36:35.920

Andrew Isenman

Yeah, I think it's interesting. I mean, I'm not fully versed with everything that's going on in that space, but I mean, I think that's that's interesting. Robot patrol. It's quite interesting. One of the biggest challenges with any patrol is how do you know people are patrolling? Like, again coming back to the insider threat point. The easiest way of allowing an opportunity to take place to is to turn a blind eye. Do you have something like random robot patrolling or even random drone patrolling?

0:37:17.170 --> 0:37:18.480

Jaime Perena

Good, good, good.

0:38:6.20 --> 0:38:36.270

Icía Lasa

I have one specific question for you. I'm guessing that you might not be able to share a lot even if you have the information, but because of what you mentioned before, what could you share maybe some specific information about what are the resources that you use for, I mean quantifying right for perimetral security or runway safety, OK and inspection like?

0:38:59.930 --> 0:39:6.940

Andrew Isenman

I'm not sure if I know the answers to those questions, and even if we could discuss them, but I mean, yeah, in terms of the runway patrolling things, the overall team itself, on anyone given day is maybe 15 to 20 people looking after the entire airfield, of which? 2 or 10% would be. Typically, once you've got down the end of the runway and then make your way back in between the planes, back up to where you started and you're ready to do it again so that you know. So it's probably about 10% of the 20 strong workforce. No, it's about 20 strong workforce out at any one time would probably need mean you need about 100 people.

Overall, in terms of employed people to be able to manage a full 24/7 hour roster, 365 days of the year and in terms of the volume of people, by the time people have taken leaves, you've got early shifts, late shifts, night shifts and that sort of thing, so yeah.

0:41:7.660 --> 0:41:15.540

Icía Lasa

The workforce or, you know the people that that you have roughly working on that the

you see any improvement? From when you didn't have the 4G network, how do you do that work before? And did it mean a reduction in, you know in people or do you have an idea of what it could mean?

0:41:30.400 --> 0:41:34.540

Andrew Isenman

Nice. The four the 4G network is driving the trial of drones. So at the moment and still today, it is all done manually. So we do manual runway inspections and then we are doing drone inspections to lobby the regulator to allow us to the, you know, to validate that drone inspection is better than a human inspection in terms of what we're looking to achieve.

The 4G network was put in probably more for our engineering workforce to be able to have access to documents about particular devices they might be maintaining within that aside space, you know access to their fault reports using systems. So in the so forth maps a big thing around, and being able to pull down and look at the maps in a particular area, they were walking out, that's what the 4G networks is in for at the moment. That's what we fundamentally use it for. It's about having a load of tablet devices that are connected to a private 4G network that are there to perform most basic maintenance activities. We're using the 4G to test the drone technology to see if it moves forward. And that for me that data coverage across that space, well, 4G allows you to fill much bigger physical spaces, you know, open physical spaces than 3G did at the time.

We'll just 3G didn't transmit this file and 5G is a is another step in that direction. So I do think actually the main use case is around particularly airports with big geographical spaces where there might be huge amounts of space between areas that you could mount antennas. That for me would be the killer case if you don't have the runway inspection problem, but you might be a mile and 1/2 from the nearest building. Out on the out on the airfield. How are you gonna get rocks on the communications to that? Well, 4G was the first opportunity for us to start doing something like that just because of the transmission range.

0:44:12.870 --> 0:44:31.650

Icíaar Lasa

Umm, I was reviewing the financial results from 2019 and one thing caught my attention because you know, of course that is the, you know, the report for investors. So you know everything is aggregated and is high level and so on and so forth, but do you have a lot of activity related to drones back in 2019? Because there is one line that caught my attention like one of the highlights when it came to the costs.

0:44:45.620 --> 0:44:48.250

Andrew Isenman

Yeah, we had drone attacks on our airport. Another London Airport, Gatwick Airport, so it was closed, totally closed for four days and because. I don't I think publicly ever got to the bottom of what's going on and but drones were being flown from an unknown location over the Gatwick Airport and I think we had two or three drone sightings at Heathrow as well, but someone attacked the Gatwick Infrastructure, closed gateway down for malicious purposes by what would appear to be randomly flying drones into airspace and pilots spotting them all? Air traffic controller spotting them, and then everything has to be shut down until you find the perpetrator. But the perpetrators were

disappearing, the drones were being operated from a long distance away.
I'm hard to find and so we invested in 2019 and the significant anti drone technology.

0:46:57.200 --> 0:47:0.750

Icíaar Lasa. So the last question is you mentioned that the drone for runway safety is a trial right now? So when you put it into, if you move it into production at some point, will it have also human inspection or do you think that that will substitute? Uh, some of the people, some of these, you know, 20 people that are working on this?

0:47:33.860 --> 0:47:40.500

Andrew Isenman

No, I don't think. I don't. Yeah, I don't think it will. I think those people will be allocated so new duties. It's all about performance improvement rather than cost production. So those people could be allowing more work to be conducted on the field or looking at more health and safety inspections, they would be redeployed elsewhere because you never know. If you have a problem with that, drones. If a regulation to change to a place, I mean pandemic, it's been a great level of for us in this. You know, there's a lot of automation in the airports, particular UK airports, automated check-in, automated bag drop. You know, so then you go to a place particularly. Uh, in the US was a good example. That will still require, you know, paper proof, physically signed pieces of paper really up until May this year of June this year, that needs to be inspected by a person before someone got onto a plane. And then we found all of our infrastructure and all of our people weren't there to actually be able to flood the area and change. So I think Heathrow certainly would be quite reticent to change that type of, you know, move to that type of model where we would just cutting cost out of the business.

My biggest problem is we can't employ enough people. People don't want to necessarily come back from to working from airport post pandemic, they found out the jobs is other things to be doing in life. It's quite cold most of the year out on a on a UK airfield and we wouldn't get rid of them. It would allow us to be more efficient somewhere else, but that is massive, massively important to us.

0:49:15.970 --> 0:49:46.650

Jaime Perena

That's really interesting. about that telemetry? Because we hear in this could be a service that the airport could monetize if you provide infrastructural for the airlines to download the telemetry in a fast and efficient way, we see that it's not that easy, right? So but we have some ideas that might can help with private MEC and an EBC or things like that. I don't know how this works, but is this any is that the use case you have made any progress or you have evaluated or take us as is that that for the people running there could be interesting to see again

0:49:59.120 --> 0:50:3.610

Andrew Isenman

Yeah, yeah. Aircraft telemetry definitely. But actually what's really interesting is where all the vehicles are on the Earth airfield privately so we can put a DSP transmitters into vehicles and you can monitor surface it through the ones that are going on to the runway. And we, which is absolutely fine and but actually vehicle telematics and how fast is the vehicle going, the vehicles being driven erratically or vehicles in places they shouldn't be. Yeah, the implementation of the safety aspects of running an airfield is

really important. And then the second part is and fleet management and the airlines and handlers basically understanding where all their equipment is, where it's been placed, where it's been moved to, how it's used. There's a huge wealth of opportunity in there. We're parallelized at the moment and the fact that I think if we had 5G technology, we would be able to open up so much more of that.

11 BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Vacas Aguilar, «5G como oportunidad para la ruptura del duopolio en el mercado móvil | Profesional de la información», *Profesional de la información*, vol. 28, n.º 6, 2019.
- [2] F. Grijpink, J. Larsson, A. Ménard, y K. Pell, «Unlocking the value of 5G in the B2C marketplace», McKinsey & Company, 2021.
- [3] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Primer for Airport Organizational Redesign*. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2022. doi: 10.17226/26642.
- [4] Federal Aviation Administration, «Fact Sheet – Foreign Object Debris (FOD)», FODprevention, nov. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://fodprevention.com/fact-sheet-foreign-object-debris-fod/>
- [5] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Current Airport Inspection Practices Regarding FOD (Foreign Object Debris/Damage)*. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2011. doi: 10.17226/14572.
- [6] W. Chen, Q. Xu, H. Ning, T. Wang, y J. Li, «Foreign object debris surveillance network for runway security», *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 83, n.º 4, pp. 229-234, ene. 2011, doi: 10.1108/00022661111138648.
- [7] A. Elrayes, M. H. Ali, A. Zakaria, y M. H. Ismail, «Smart airport foreign object debris detection rover using LiDAR technology», *Internet of Things*, vol. 5, pp. 1-11, mar. 2019, doi: 10.1016/j.iot.2018.11.001.
- [8] P. D. L. Beasley, G. Binns, R. D. Hodges, y R. J. Badley, «Tarsier/spl R/, a millimetre wave radar for airport runway debris detection», en *First European Radar Conference, 2004. EURAD.*, oct. 2004, pp. 261-264.
- [9] E. E. Herricks, P. Lazar III, E. Woodworth, y J. Patterson Jr, «Performance Assessment of a Mobile, Radar-Based Foreign Object Debris Detection System», Art. n.º DOT/FAA/AR-11/12, sep. 2011, [En línea]. Disponible en: <https://trid.trb.org/view/1313499>
- [10] E. E. Herricks, P. Lazar III, E. Woodworth, y J. Patterson Jr, «Performance Assessment of an Electro-Optical-Based Foreign Object Debris Detection System», Art. n.º DOT/FAA/AR-11/13, mar. 2012, [En línea]. Disponible en: <https://trid.trb.org/view/1313498>
- [11] «FODetect®», Xsight Systems. [En línea]. Disponible en: <https://xsightsys.com/fodetect/>
- [12] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [13] O. Burkacky, A. Hoffmann, S. Lingermann, y M. Simon, «The 5G B2B era: New horizons for advanced-electronics and industrial companies | McKinsey», McKinsey & Company, feb. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies>
- [14] «Enterprises prioritize 5G applications that drive real-world benefits now, over more cutting-edge use cases», Ernst & Young, feb. 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.ey.com/en_gl/news/2022/02/enterprises-prioritize-5g-applications-that-drive-real-world-benefits-now-over-more-cutting-edge-use-cases

- [15] United Stated Patent and Trademark Office, «Patenting Activity among 5G Technology Developers», feb. 2022.
- [16] CTIA, «Infrastructure», CTIA. [En línea]. Disponible en: <https://www.ctia.org/positions/infrastructure>
- [17] «What Edge Computing Means For Infrastructure And Operations Leaders», Gartner, oct. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/what-edge-computing-means-for-infrastructure-and-operations-leaders>
- [18] S. J. Bigelow, «What Is Edge Computing? Everything You Need to Know», SearchDataCenter. [En línea]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/edge-computing>
- [19] J. O'Halloran, «MEC to gain sharper edge over next five years», *Computer Weekly*, 25 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.computerweekly.com/news/252520549/MEC-to-gain-sharper-edge-over-next-five-years>
- [20] D. Darah, «3 delivery models for 5G and MEC», Networking. [En línea]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/3-models-for-5G-and-MEC-integration>
- [21] Google, «5G edge computing study: The CSP opportunity | Google Cloud», feb. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/resources/telecom-5g-edge-enterprise-report>
- [22] *Measuring performance for Azure public MEC applications*, (11 de octubre de 2022). [En línea Video]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=u_ALrNEk2cM
- [23] «Communication Platform for Frontline Workers – weavix™». [En línea]. Disponible en: <https://weavix.com/communications-solutions/>
- [24] «O'Donnell - 5. COMMENTS OR SUGGESTIONS for improvements to thi.pdf». Accedido: 3 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_150_5210-24.pdf
- [25] «GPU NVIDIA A2 con núcleo Tensor», NVIDIA. Accedido: 13 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.nvidia.com/es-es/data-center/products/a2/>
- [26] D. Darah, «5G NSA vs. SA: How does each deployment mode differ?», Networking. [En línea]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/5G-NSA-vs-SA-How-does-each-deployment-mode-differ>
- [27] Microsoft Azure, «¿Qué es Azure Private 5G Core?» 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/private-5g-core/private-5g-core-overview>
- [28] C. Dow, *Hands-On Edge Analytics with Azure IoT: Design and develop IoT applications with edge analytical solutions including Azure IoT Edge*. Packt Publishing Ltd, 2020.
- [29] «DeepStream SDK», NVIDIA Developer. Accedido: 16 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://developer.nvidia.com/deepstream-sdk>
- [30] «Azure Stack HCI Solutions | Microsoft». Accedido: 16 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://azurestackhcisolutions.azure.microsoft.com/#/details/84>
-