



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Diseño y Gestión de Proyectos
Tecnológicos

Planificación de Sistema de Optimización Dinámica de Rutas y Recursos en Entornos Complejos

Trabajo fin de estudio presentado por:	Elena González Olivé
Tipo de trabajo:	Tipo 2. Planificación de un proyecto de innovación tecnológica en el ámbito de las TIC
Director/a:	Flor Nancy Díaz Piraquive
Fecha:	18/07/2026

Resumen

Este Trabajo Fin de Máster presenta la planificación del proyecto OPTIR, una plataforma de apoyo a la toma de decisiones para optimizar la asignación de recursos y rutas en entornos operativos dinámicos. La propuesta se centra en un entorno aeroportuario, donde la coordinación de trabajadores, vehículos, tareas e incidencias requiere respuestas rápidas y adaptables.

El trabajo analiza soluciones existentes y define una arquitectura modular capaz de representar el entorno mediante nodos, conexiones, recursos y restricciones operativas. A partir de esta base, OPTIR podrá generar recomendaciones sobre asignación de recursos, rutas y prioridades según la información disponible en tiempo real.

Asimismo, se desarrolla la planificación completa del proyecto: consorcio, paquetes de trabajo, tareas, entregables, hitos, cronograma, esfuerzos, presupuesto, calidad, riesgos y validación. La evaluación prevista combina pruebas de desarrollo, integración tecnológica y piloto operativo. El resultado es una propuesta viable para desarrollar y validar una primera versión funcional de la plataforma.

Palabras clave: optimización operativa, asignación dinámica de recursos, apoyo a la decisión, integración de sistemas, validación piloto.

Abstract

This Master's Thesis presents the planning of the OPTIR project, a decision-support platform designed to optimise resource allocation and routing in dynamic operational environments. The proposal focuses on an airport setting, where the coordination of workers, vehicles, tasks, and incidents requires fast and adaptable responses.

The study analyses existing solutions and defines a modular architecture able to represent the operational environment through nodes, connections, resources, and operational constraints. Based on this structure, OPTIR can generate recommendations for resource allocation, routing, and task prioritisation according to real-time information.

The thesis also develops the complete project plan, including the consortium, work packages, tasks, deliverables, milestones, schedule, effort estimation, budget, quality management, risks, and validation strategy. The proposed evaluation combines development testing, technological integration, and an operational pilot. The result is a feasible proposal for developing and validating an initial functional version of the platform.

Keywords: operational optimisation, dynamic resource allocation, decision support, systems integration, pilot validation.

Índice de contenidos

1.	Introducción	1
1.1.	Motivación	1
1.2.	Planteamiento del trabajo	2
1.3.	Objetivos del Trabajo Fin de Estudios	3
2.	Contexto y estado del arte	4
2.1.	Análisis del contexto	4
2.1.1.	Evolución de los sistemas de movilidad y optimización operativa	4
2.1.2.	Entornos complejos y toma de decisiones operativa	5
2.1.3.	Limitaciones de los sistemas actuales	6
2.2.	Estado del arte	7
2.2.1.	Fundamentos del cálculo de rutas y optimización	7
2.2.2.	Sistemas actuales de optimización operativa	8
2.2.3.	Tecnologías emergentes	9
2.3.	Conclusión	10
3.	Descripción del proyecto y metodología de trabajo	11
3.1.	Objetivo general del proyecto	11
3.2.	Descripción del proyecto	12
3.3.	Alcance y funcionalidades de la solución propuesta	15
3.4.	Impacto esperado y criterios de evaluación	17
3.4.1.	Impacto operativo	17
3.4.2.	Impacto económico, social y ambiental	17
3.4.3.	Indicadores clave de rendimiento (KPI)	18
3.4.4.	Limitaciones y factores externos	20
3.5.	Metodología de trabajo	20

4.	Desarrollo de la planificación del proyecto.....	22
4.1.	Definición de perfiles de trabajo	22
4.1.1.	Consortio del proyecto.....	22
4.1.2.	Organigrama del proyecto.....	24
4.1.3.	Perfiles requeridos.....	25
4.1.4.	Roles y responsabilidades.....	25
4.2.	Planificación de tareas y esfuerzos.....	27
4.2.1.	EDT, hitos y entregables	27
4.2.2.	Paquetes de trabajo	29
4.2.3.	Actividades y esfuerzos	36
4.2.4.	Cronograma (Gantt)	38
4.3.	Diseño y cálculo del presupuesto.....	39
4.3.1.	Presupuesto global	39
4.3.2.	Presupuesto por partidas	40
4.4.	Gestión de calidad y riesgos	44
4.4.1.	Aseguramiento de la calidad	44
4.4.2.	Gestión de riesgos	45
4.5.	Plan de calidad.....	49
4.5.1.	Gestión documental y control de versiones.....	49
4.5.2.	Revisión y aceptación de entregables	49
4.5.3.	Comunicación, coordinación y seguimiento	50
4.6.	Plan de divulgación y explotación	51
4.6.1.	Estrategia de divulgación.....	51
4.6.2.	Estrategia de explotación	53
4.7.	Evaluación de la solución.....	54

4.7.1.	Pruebas y validación del prototipo.....	54
4.7.2.	Métricas de validación.....	55
5.	Conclusiones y trabajo futuro	59
5.1.	Principales conclusiones.....	59
5.2.	Líneas de trabajo futuro	60
	Referencias bibliográficas.....	61

Índice de figuras

Figura 2-1. Influencia de variables operativas sobre objetivos de optimización.....	6
Figura 2-2. Ejemplo Red de Nodos.	8
Figura 3-1. Representación Red con distintos tipos de Nodos.	13
Figura 3-2. Representación Ruta Optimizada en Entorno Aeroportuario.....	14
Figura 4-1. Organigrama y estructura de coordinación del proyecto OPTIR.	24
Figura 4-2. Estructura de Desglose del Trabajo (EDT).	27
Figura 4-3. Diagrama de Gantt del Proyecto.	38

Índice de tablas

Tabla 2-1. Principales limitaciones de los sistemas actuales de optimización operativa.	7
Tabla 2-2. Comparativa funcional entre distintos sistemas actuales y la propuesta planteada.	9
Tabla 3-1. Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).	18
Tabla 4-1. Matriz RACI de responsabilidades del consorcio	26
Tabla 4-2. Entregables definidos para el proyecto.....	28
Tabla 4-3. Hitos definidos para el proyecto	29
Tabla 4-4. Tabla WP1 - Gestión y coordinación del proyecto	30
Tabla 4-5. Tabla WP2 - Diseño y especificación de la solución	31
Tabla 4-6. Tabla WP3 - Desarrollo de la plataforma	32
Tabla 4-7. Tabla WP4 - Integración tecnológica.....	33
Tabla 4-8. Tabla WP5 - Validación piloto.....	34
Tabla 4-9. Tabla WP6 - Difusión, explotación e impacto.....	35
Tabla 4-10. Tabla de actividades y esfuerzos en personas/mes y en horas.....	36
Tabla 4-11. Distribución del esfuerzo por entidad	37
Tabla 4-12. Partida presupuestaria global.....	39
Tabla 4-13. Partida presupuestaria coste de personal.....	40
Tabla 4-14. Partida presupuestaria de Equipamiento e Infraestructura	41
Tabla 4-15. Partida presupuestaria de Software, Licencias y Servicios Cloud	42
Tabla 4-16. Partida presupuestaria de Viajes, Validación piloto y Difusión.....	42
Tabla 4-17. Partida presupuestaria de Servicios especializados externos.....	43
Tabla 4-18. Partida presupuestaria de Costes Indirectos.....	44
Tabla 4-19. Criterios de Calidad por Paquete de Trabajo	45
Tabla 4-20. Clasificación de Riesgos según NPR.....	47

Tabla 4-21. Riesgos, Análisis NPR y Mitigación	48
Tabla 4-22. Plan de comunicaciones	50
Tabla 4-23. Acciones previstas de divulgación	52
Tabla 4-24. Principales resultados explotables del proyecto.....	53
Tabla 4-25. Indicadores de validación del WP1.....	55
Tabla 4-26. Indicadores de validación del WP2.....	56
Tabla 4-27. Indicadores de validación del WP3.....	56
Tabla 4-28. Indicadores de validación del WP4.....	57
Tabla 4-29. Indicadores de validación del WP5.....	57
Tabla 4-30. Indicadores de validación del WP6.....	57

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Fin de Estudios se enmarca dentro del ámbito de la planificación y gestión de proyectos tecnológicos, teniendo como objetivo principal la definición y estructuración de un proyecto de innovación orientado al desarrollo de un sistema avanzado de optimización dinámica de rutas y recursos. Este tipo de sistemas, utilizados actualmente en sectores altamente especializados, permiten analizar múltiples variables y escenarios con el fin de mejorar la toma de decisiones en entornos complejos.

En este contexto, el trabajo plantea la planificación de un proyecto tecnológico orientado al desarrollo de una solución capaz de optimizar desplazamientos, asignación de recursos y operaciones dentro de espacios dinámicos como hospitales, centros logísticos o infraestructuras aeroportuarias. A lo largo del documento se analizarán las limitaciones de las soluciones actuales, se revisarán las tecnologías existentes y se definirá una propuesta de proyecto que permita mejorar la capacidad de adaptación y eficiencia operativa en este tipo de entornos.

1.1.MOTIVACIÓN

La optimización de rutas y recursos ha sido históricamente un problema relevante en numerosos sectores relacionados con el transporte, la logística y la gestión operativa. En los últimos años, el crecimiento de la capacidad computacional y la aparición de sistemas conectados han impulsado el desarrollo de herramientas capaces de mejorar la toma de decisiones mediante el análisis dinámico de información en tiempo real.

Uno de los ámbitos donde estas tecnologías han alcanzado un mayor grado de sofisticación es el sector aeroespacial. En este entorno se utilizan sistemas capaces de calcular trayectorias óptimas teniendo en cuenta múltiples variables como condiciones meteorológicas, restricciones operativas o costes asociados a distintas alternativas de operación.

La experiencia previa de la autora tanto en el ámbito académico como profesional dentro del sector aeroespacial permitió participar en proyectos relacionados con la optimización de trayectorias y el análisis de rutas dinámicas. Esta experiencia puso de manifiesto el potencial

de trasladar metodologías avanzadas de optimización a otros entornos operativos donde también existe la necesidad de coordinar recursos y desplazamientos de forma eficiente.

Actualmente, sectores como la logística, la gestión hospitalaria o las infraestructuras aeroportuarias operan en escenarios altamente dinámicos donde pequeñas variaciones pueden afectar significativamente al rendimiento global del sistema. A pesar de los avances tecnológicos existentes, muchas soluciones actuales continúan presentando limitaciones relacionadas con adaptación dinámica, integración de múltiples objetivos y coordinación eficiente de recursos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

A partir de la problemática identificada, el presente Trabajo Fin de Estudios plantea la planificación de un proyecto de innovación tecnológica orientado al diseño de un sistema avanzado de optimización dinámica de rutas y recursos en entornos complejos.

La propuesta se basa en el desarrollo conceptual de una solución capaz de analizar diferentes alternativas operativas dentro de un espacio determinado, evaluando múltiples variables relacionadas con disponibilidad de recursos, restricciones operativas, tiempos de operación o condiciones cambiantes del entorno. El objetivo del sistema sería facilitar la toma de decisiones mediante mecanismos de optimización multicriterio y adaptación dinámica.

El proyecto se orienta especialmente a entornos donde la coordinación eficiente de desplazamientos y recursos resulta crítica para el funcionamiento del sistema, como hospitales, centros logísticos o infraestructuras aeroportuarias.

Es importante destacar que el alcance de este trabajo no contempla el desarrollo técnico completo de la solución propuesta, sino la planificación detallada del proyecto necesario para su implementación. En este sentido, el documento se centrará únicamente en los elementos necesarios para la gestión del proyecto.

De esta manera, el trabajo busca aplicar los conocimientos adquiridos durante el máster en el ámbito de la gestión de proyectos tecnológicos mediante el diseño y planificación de una propuesta innovadora orientada a la optimización operativa en entornos complejos.

1.3.OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Objetivo general

Planificar un proyecto de innovación tecnológica orientado al diseño de un sistema de optimización dinámica de rutas y recursos en entornos complejos, capaz de apoyar la toma de decisiones mediante mecanismos de adaptación continua y optimización multicriterio.

Objetivos específicos

- Analizar el contexto actual de los sistemas de optimización operativa y apoyo a la toma de decisiones, identificando sus principales limitaciones y oportunidades de mejora.
- Realizar una revisión del estado del arte sobre técnicas de optimización dinámica, gestión de recursos y sistemas multicriterio aplicados a entornos complejos.
- Definir las características, alcance y funcionalidades generales del proyecto tecnológico propuesto.
- Establecer la planificación del proyecto mediante la definición de tareas, hitos, entregables y cronograma.
- Identificar los perfiles profesionales necesarios y definir la estructura organizativa del equipo de trabajo.
- Elaborar una estimación económica del proyecto mediante la planificación de recursos y presupuesto.
- Analizar los riesgos asociados al desarrollo del proyecto y proponer estrategias de mitigación.
- Definir mecanismos de evaluación y validación de la solución propuesta mediante criterios e indicadores de rendimiento.

2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE

Desde las sociedades más primitivas se ha planteado el conocido como “*Shortest Path Problem*”, traducido al español como el problema del camino más corto. En los inicios de la sociedad, este problema surgía de la necesidad de encontrar la forma más rápida de llegar a comida o refugio. Sin embargo, a medida que las sociedades evolucionaron, este desafío continuó presente en el ámbito matemático y científico, dando lugar al desarrollo de múltiples teorías y métodos orientados a resolverlo. Algunos de estos enfoques se centraban en laberintos y caminos sin salida, mientras que otros evolucionaron hacia problemas más complejos relacionados con la congestión del tráfico o la planificación de rutas. (Schrijver, 2012)

La optimización de rutas y recursos ha estado presente desde los primeros sistemas de transporte y organización operativa. Con el avance de la tecnología y la aparición de datos en tiempo real, estos sistemas han evolucionado desde modelos estáticos hacia soluciones capaces de adaptarse a cambios del entorno.

Uno de los sectores donde esta evolución ha tenido mayor impacto ha sido el transporte, tanto terrestre como marítimo y aéreo. Actualmente, también se aplican técnicas de optimización en entornos como hospitales, almacenes logísticos o aeropuertos, donde la coordinación eficiente de desplazamientos y recursos tiene un impacto directo sobre la operación. Sin embargo, muchos sistemas actuales continúan centrándose en objetivos limitados y presentan dificultades para adaptarse de forma flexible a escenarios dinámicos. (Pillac et al., 2013; Richardson, 1980)

Por este motivo, resulta relevante analizar las tecnologías y soluciones existentes, así como identificar sus limitaciones y oportunidades de mejora.

2.1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO

2.1.1. Evolución de los sistemas de movilidad y optimización operativa

La optimización de rutas ha evolucionado significativamente gracias al desarrollo de sistemas digitales y al aumento de la capacidad de procesamiento de información. Los primeros modelos se centraban en minimizar la distancia o el tiempo mediante reglas estáticas. Sin

embargo, la aparición de datos en tiempo real impulsó el desarrollo de sistemas más dinámicos y adaptativos.

El transporte fue uno de los primeros sectores donde estas tecnologías demostraron mejoras significativas. Actualmente, los sistemas GPS permiten recalcular trayectorias de forma dinámica teniendo en cuenta el tráfico o posibles incidencias. Del mismo modo, en la aviación y la navegación marítima se utilizan herramientas capaces de optimizar trayectorias considerando múltiples restricciones operativas, como las condiciones meteorológicas o el consumo de combustible. (Gende, s. f.)

Con el tiempo, estas técnicas comenzaron a extenderse hacia otros ámbitos, como la logística, los almacenes automatizados o la gestión hospitalaria, donde la coordinación eficiente de recursos y desplazamientos resulta fundamental para mejorar la eficiencia operativa.

2.1.2. Entornos complejos y toma de decisiones operativa

Muchos de los entornos donde actualmente se aplican sistemas de optimización presentan condiciones dinámicas y cambiantes. Hospitales, centros logísticos o aeropuertos son ejemplos de escenarios donde intervienen múltiples recursos, restricciones y decisiones que deben tomarse continuamente.

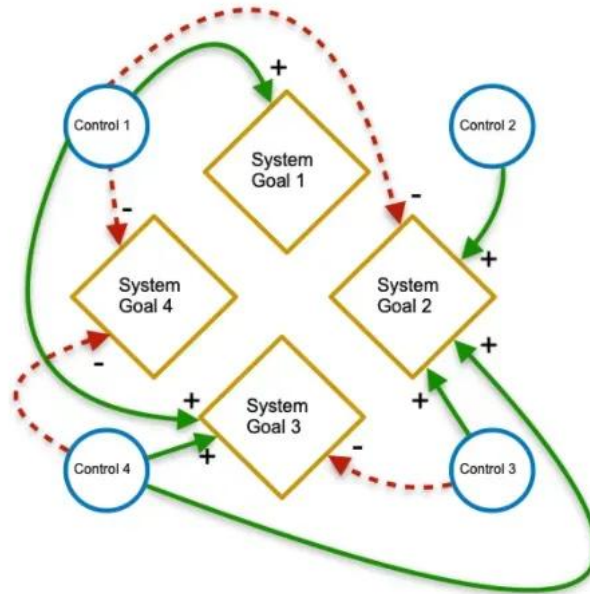
En estos contextos, cambios en disponibilidad de recursos, incidencias operativas o modificaciones en la demanda pueden alterar rápidamente una planificación inicial. Como consecuencia, la capacidad de adaptación y reajuste continuo se ha convertido en un elemento clave dentro de la gestión operativa moderna. (Almogry et al., s. f.)

Por este motivo, cada vez resulta más habitual el uso de sistemas capaces de analizar información en tiempo real y generar recomendaciones dinámicas para apoyar la toma de decisiones.

En muchos sistemas operativos complejos, una misma decisión puede afectar simultáneamente a diferentes objetivos del sistema, generando mejoras en algunos aspectos y limitaciones en otros. Esta situación representa una de las principales dificultades dentro de la gestión de entornos complejos y la toma de decisiones operativas. La Figura 2-1 muestra de

forma simplificada cómo distintos elementos controlables pueden influir positiva o negativamente sobre varios objetivos operativos de manera simultánea.

Figura 2-1. *Influencia de variables operativas sobre objetivos de optimización.*



Fuente: (*What Does It Take to Optimize a Complex System?*, 2021)

2.1.3. Limitaciones de los sistemas actuales

Uno de los problemas más habituales es la optimización basada en un único objetivo, normalmente centrado en minimizar tiempo, distancia o coste económico. Sin embargo, en escenarios reales es frecuente que diferentes objetivos entren en conflicto, haciendo necesaria la utilización de enfoques multicriterio. (Richmond, 2013)

Otra limitación importante aparece en la capacidad de adaptación dinámica. Aunque muchos sistemas incorporan mecanismos de actualización, numerosos modelos continúan dependiendo de reglas estáticas o presentan dificultades para reaccionar rápidamente ante cambios del entorno.

Finalmente, también existe una separación frecuente entre planificación y operación real, provocando que muchas soluciones pierdan eficiencia cuando aparecen incidencias o condiciones no previstas inicialmente.

Las limitaciones descritas anteriormente representan algunos de los principales desafíos presentes en los sistemas actuales de optimización operativa. La Tabla 2-1 resume de forma

simplificada el impacto que estas limitaciones pueden generar sobre el funcionamiento del sistema.

Tabla 2-1. Principales limitaciones de los sistemas actuales de optimización operativa.

Limitación	Impacto operativo
Optimización basada en un único objetivo	Reduce la flexibilidad del sistema
Baja capacidad de adaptación dinámica	Dificulta reaccionar ante cambios o incidencias
Dependencia de reglas estáticas	Limita la capacidad de reajuste
Gestión aislada de recursos	Reduce la coordinación global del sistema

Fuente: Elaboración propia.

2.2. ESTADO DEL ARTE

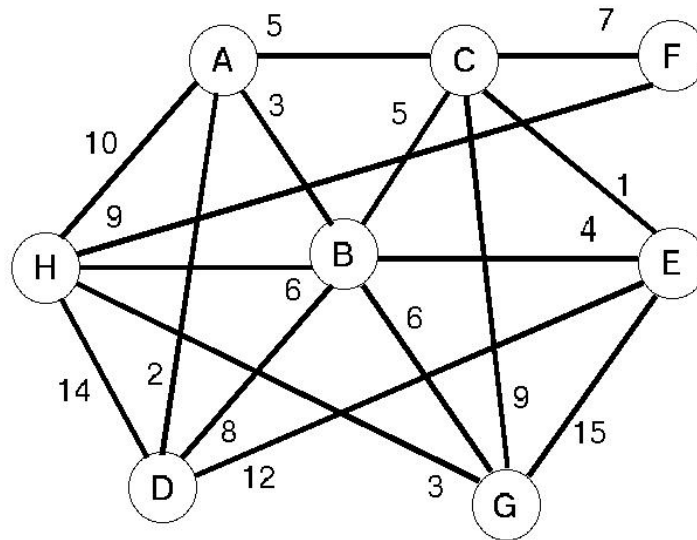
2.2.1. Fundamentos del cálculo de rutas y optimización

El cálculo de rutas y la optimización operativa se apoyan principalmente en técnicas de investigación operativa y teoría de grafos. Muchos problemas de movilidad y planificación pueden representarse mediante redes de nodos y conexiones donde cada trayecto tiene asociado un coste determinado.

Tradicionalmente, estos modelos buscaban minimizar variables como distancia o tiempo. Sin embargo, la creciente complejidad de los entornos actuales ha favorecido el desarrollo de sistemas multicriterio capaces de considerar simultáneamente diferentes restricciones y objetivos operativos. (Allauca, 2023)

Además, la incorporación de datos en tiempo real ha impulsado la evolución hacia modelos dinámicos capaces de recalcular decisiones durante la operación. La Figura 2-2 muestra un ejemplo simplificado de una red de nodos donde cada conexión tiene asociado un coste determinado, utilizado para representar posibles trayectorias dentro de un sistema de optimización.

Figura 2-2. *Ejemplo Red de Nodos.*



Fuente: («Problema del camino más corto», 2024)

2.2.2. Sistemas actuales de optimización operativa

Actualmente existen numerosas soluciones orientadas a mejorar la planificación y coordinación de operaciones mediante sistemas de optimización de rutas y recursos.

En el ámbito del transporte destacan herramientas de navegación como Google Maps o Waze, capaces de recalcular trayectorias utilizando información dinámica del tráfico y posibles incidencias durante el desplazamiento. Aunque estos sistemas están principalmente orientados a la movilidad terrestre, representan uno de los ejemplos más extendidos de optimización dinámica aplicada al usuario final. (*Información - Google Maps*, s. f.; *Información - Waze*, s. f.)

En otros sectores, las soluciones existentes se centran más en la coordinación de operaciones y recursos dentro de espacios concretos. En logística e industria destacan plataformas como *SAP Extended Warehouse Management*, utilizadas para coordinar almacenes, distribución y asignación de recursos. Del mismo modo, en el ámbito hospitalario existen sistemas como *TeleTracking*, orientados a la gestión de camas, flujo de pacientes y coordinación operativa en tiempo real.

Por otra parte, el sector aeroportuario representa uno de los entornos donde la optimización operativa ha alcanzado un mayor nivel de desarrollo. Sistemas como A-CDM permiten coordinar operaciones aeroportuarias mediante intercambio de información en tiempo real y apoyo a la toma de decisiones entre distintos actores del sistema. (*SAP Extended Warehouse Management / WMS*, s. f.; *Teletracking*, s. f.; Vila, 2025)

A pesar de las diferencias entre sectores, la mayoría de estas soluciones comparten una estructura común basada en cálculo de trayectorias, gestión de recursos y apoyo a la toma de decisiones. Asimismo, las plataformas relacionadas con logística, hospitales y aeropuertos presentan características más cercanas a la propuesta planteada en este trabajo, ya que operan dentro de espacios delimitados donde múltiples recursos y restricciones deben coordinarse simultáneamente.

La Tabla 2-1 resume de forma comparativa algunas de las principales características presentes en distintos sistemas actuales de optimización operativa y su relación con la propuesta planteada en este trabajo.

Tabla 2-2. Comparativa funcional entre distintos sistemas actuales y la propuesta planteada.

Sistema	Tiempo Real	Gestión de Recursos	Gestión de Incidencias	Coordinación entre actores	Optimización de rutas	Optimización multicriterio configurable	Adaptable a distintos sectores
Google Maps /Waze	Sí	No	Parcial	No	Sí	Parcial	No
SAP EWM	Parcial	Sí	Sí	Parcial	Sí	Parcial	No
TeleTracking	Sí	Sí	Sí	Sí	Parcial	Parcial	No
A-CDM	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Si	No
Propuesta de Proyecto	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Si	Sí

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Tecnologías emergentes

La evolución reciente de estos sistemas ha estado marcada por la incorporación de datos en tiempo real, modelos de simulación y mecanismos avanzados de apoyo a la toma de decisiones.

De forma complementaria, algunas aplicaciones incorporan técnicas de inteligencia artificial orientadas principalmente a tareas de predicción y análisis de patrones operativos. (Ortiz Luzuriaga & Briones Morales, 2025)

Estas tecnologías permiten desarrollar soluciones más flexibles y adaptativas, especialmente útiles en entornos complejos donde las condiciones pueden variar continuamente.

2.3.CONCLUSIÓN

El análisis muestra que las soluciones actuales suelen estar especializadas por sector o función y que pocas combinan, dentro de una misma plataforma, asignación de recursos, cálculo de rutas, gestión de incidencias y configuración multicriterio. Esta brecha constituye el punto de partida de OPTIR.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Una vez analizado el contexto actual de los sistemas de optimización operativa y estudiadas distintas soluciones existentes, surge la necesidad de plantear herramientas más flexibles y adaptables capaces de integrar múltiples capacidades dentro de una misma solución.

3.1.OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Objetivo general

Diseñar un sistema de optimización de rutas y recursos capaz de apoyar la toma de decisiones operativas en entornos dinámicos mediante el análisis de información en tiempo real y la priorización de distintos criterios operativos.

Objetivos específicos

- Definir una arquitectura conceptual adaptable a distintos entornos operativos.
- Diseñar un modelo capaz de representar espacios operativos mediante nodos y conexiones.
- Establecer mecanismos de gestión y asignación de recursos dentro del sistema.
- Incorporar capacidades de actualización y reajuste dinámico ante cambios del entorno.
- Permitir la priorización de distintos objetivos operativos según las necesidades de cada escenario.
- Analizar posibles aplicaciones del sistema en sectores como logística, hospitales o aeropuertos.
- Definir los requisitos funcionales y técnicos necesarios para el desarrollo de la solución propuesta.
- Establecer una metodología de trabajo adecuada para la planificación y desarrollo del proyecto.
- Identificar riesgos, limitaciones y necesidades asociadas a la implementación del sistema.

3.2.DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto, denominado **OPTIR (*Optimización Inteligente de Rutas y Recursos*)**, plantea el desarrollo de una plataforma de apoyo a la toma de decisiones orientada a la optimización de rutas, tareas y recursos dentro de entornos operativos dinámicos.

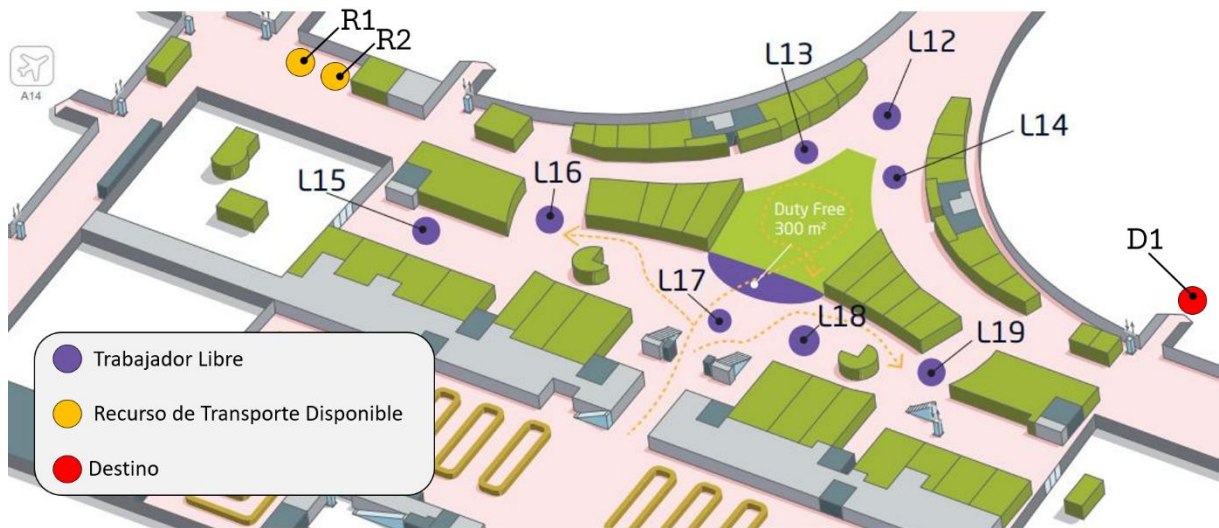
OPTIR se concibe como una solución transversal y adaptable a distintos ámbitos operativos. No obstante, el proyecto toma como referencia principal el entorno aeroportuario, en el que se desarrollará la integración y validación piloto de la primera versión funcional. Esta elección permite trabajar sobre un caso de uso complejo, con múltiples recursos, restricciones operativas y necesidad de coordinación en tiempo real, sin limitar la posibilidad de adaptar la plataforma a otros sectores en fases posteriores.

Actualmente, numerosos entornos como hospitales, almacenes logísticos o aeropuertos utilizan sistemas especializados capaces de optimizar únicamente determinadas partes de la operación. Aunque estas soluciones permiten mejorar eficiencia y coordinación en tareas concretas, muchas continúan presentando limitaciones relacionadas con la integración global de recursos, la adaptación dinámica y la capacidad de reajustar decisiones según cambios del entorno.

A partir de este contexto, el proyecto propone el desarrollo de una herramienta capaz de representar un entorno operativo mediante una red de nodos y conexiones sobre la que aplicar diferentes mecanismos de optimización. A diferencia de otros sistemas centrados únicamente en trayectorias o ubicaciones, la propuesta plantea la utilización de distintos tipos de nodos capaces de representar recursos, operadores, medios de transporte, tareas o puntos relevantes dentro de la operación.

La Figura 2-2 muestra un ejemplo simplificado de esta representación en un entorno aeroportuario. En ella se identifican los trabajadores disponibles, los recursos de transporte y el destino asociado a una necesidad operativa.

Figura 3-1. Representación Red con distintos tipos de Nodos.

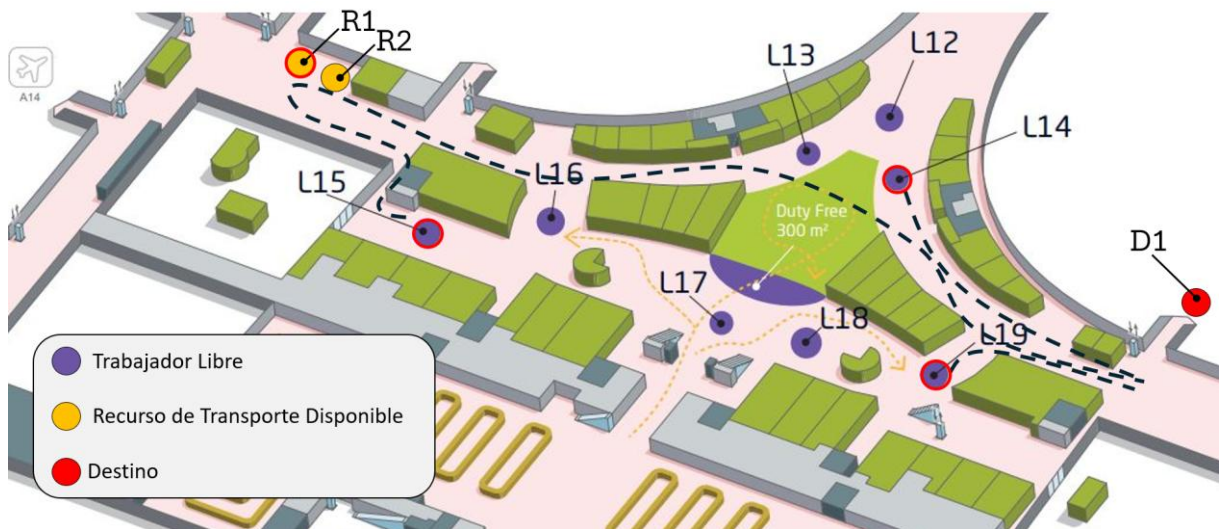


Fuente: Elaboración propia a partir de (Madden, 2020)

De esta manera, el sistema podría modelar relaciones e interacciones entre distintos elementos operativos según las necesidades de cada entorno. Por ejemplo, determinadas acciones podrían requerir la coordinación simultánea de varios recursos específicos, permitiendo calcular automáticamente las combinaciones más eficientes según disponibilidad, proximidad, prioridad operativa o tiempo de respuesta. Sobre esta estructura, el sistema sería capaz de analizar diferentes alternativas operativas utilizando información en tiempo real y distintos criterios de decisión.

En un entorno aeroportuario, por ejemplo, una operación concreta podría requerir la asignación coordinada de distintos trabajadores y recursos de transporte para atender una incidencia o una necesidad específica durante el desembarque de un avión. A partir de la información disponible en tiempo real, el sistema podría identificar automáticamente los recursos más adecuados y generar recomendaciones operativas para minimizar tiempos de respuesta y desplazamientos innecesarios. Como se muestra en la Figura 3-2, la plataforma representa la ruta recomendada para los trabajadores y recursos seleccionados.

Figura 3-2. Representación Ruta Optimizada en Entorno Aeroportuario



Fuente: Elaboración propia a partir de (Madden, 2020)

Uno de los principios de diseño más relevantes del proyecto es la capacidad de reajustar decisiones durante la operación. De esta manera, el sistema no dependería únicamente de una planificación inicial estática, sino que podría modificar rutas, prioridades o asignaciones de recursos cuando se produzcan cambios relevantes dentro del entorno operativo.

La propuesta se plantea desde una perspectiva transversal, permitiendo adaptar la misma base conceptual a distintos sectores. En el ámbito hospitalario, el sistema podría utilizarse para coordinar desplazamientos internos, priorizar recursos o gestionar incidencias críticas. En logística, podría facilitar la organización de almacenes y la asignación dinámica de tareas dentro de centros de distribución. En aeropuertos, la solución podría aplicarse a la coordinación de operaciones y recursos dentro de las diferentes áreas operativas.

Como antecedentes principales del proyecto, la propuesta se inspira en soluciones existentes utilizadas actualmente en sectores como logística, gestión hospitalaria y operación aeroportuaria, especialmente aquellas orientadas a coordinación operativa y optimización dinámica de recursos. Sin embargo, el objetivo del proyecto no consiste en replicar una solución específica ya existente, sino en desarrollar una base adaptable capaz de integrar capacidades presentes en distintos sistemas dentro de una misma herramienta.

Finalmente, el proyecto contempla una duración de dieciocho meses para el diseño, desarrollo, integración y validación de una primera versión funcional de OPTIR. La ejecución incluirá las fases de definición de requisitos, diseño de la arquitectura, desarrollo de los módulos principales, integración con fuentes de información disponibles, pruebas en un entorno controlado y validación mediante un piloto aeroportuario.

3.3.ALCANCE Y FUNCIONALIDADES DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

El alcance inicial se centra en la creación de una arquitectura modular que pueda adaptarse a diferentes sectores, aunque la validación del prototipo se realizará en un caso de uso aeroportuario. Esta arquitectura permitirá representar un entorno operativo mediante nodos, conexiones y zonas. Los nodos podrán corresponder a recursos materiales, trabajadores, vehículos o áreas de trabajo. Las conexiones representarán desplazamientos posibles, relaciones entre recursos, dependencias entre tareas o restricciones operativas.

A partir de esta representación, el sistema podrá analizar la disponibilidad, ubicación, prioridad y carga de trabajo de los recursos. Cuando se produzca una nueva tarea, una incidencia o un cambio relevante en el entorno, OPTIR podrá calcular alternativas de asignación y desplazamiento teniendo en cuenta los criterios definidos para cada escenario.

La primera versión funcional de la plataforma incluirá las siguientes capacidades:

- Modelado de entornos operativos mediante nodos, conexiones, zonas y restricciones.
- Registro y gestión de recursos, incluyendo personal, vehículos, equipos, tareas y puntos relevantes del entorno.
- Consulta del estado de los recursos, con información sobre disponibilidad, ubicación, prioridad y carga de trabajo.
- Asignación de recursos a tareas según criterios operativos configurables.
- Cálculo de rutas y alternativas de desplazamiento dentro del entorno modelado.
- Reajuste de asignaciones, rutas y prioridades cuando se produzcan incidencias, retrasos, bloqueos, cambios de disponibilidad o nuevas necesidades operativas.

- Configuración de objetivos de optimización según las necesidades de cada caso de uso, como la reducción de tiempos de respuesta, la disminución de desplazamientos innecesarios o el equilibrio de la carga de trabajo.
- Generación de recomendaciones para los responsables operativos, indicando los recursos propuestos, la ruta recomendada y la justificación básica de la decisión.
- Registro de decisiones, incidencias y resultados para facilitar el análisis posterior y la mejora progresiva de los modelos de optimización.
- Integración inicial con fuentes de datos disponibles en el entorno de validación, mediante interfaces definidas durante la fase de diseño e integración.

La solución se desarrollará con una arquitectura modular y escalable. Esta decisión permitirá incorporar nuevos tipos de recursos, algoritmos de optimización o funcionalidades específicas sin necesidad de rediseñar completamente la plataforma. También facilitará su adaptación a otros sectores manteniendo una base común de representación del entorno, gestión de recursos y generación de recomendaciones.

La validación se centrará en un caso de uso aeroportuario, en el que la plataforma representará áreas operativas, recursos disponibles y tareas asociadas a incidencias o necesidades de servicio. En este contexto, OPTIR podrá proponer combinaciones de trabajadores, vehículos y recursos materiales para atender una tarea concreta, teniendo en cuenta su disponibilidad, localización, prioridad y tiempo estimado de llegada. Las recomendaciones se utilizarán como apoyo a la decisión y se revisarán con usuarios del entorno operativo durante las pruebas piloto.

El proyecto incluye la definición de requisitos, el diseño de la arquitectura, el desarrollo del prototipo, la integración en un entorno controlado y la validación mediante escenarios de prueba y piloto. También incluye la elaboración de documentación técnica, planes de calidad, gestión de riesgos, evaluación de resultados y análisis de posibles vías de explotación futura.

Quedan fuera del alcance de esta primera fase la implantación completa de la solución en todos los procesos operativos de un aeropuerto, la integración definitiva con todos los sistemas corporativos existentes, la automatización de decisiones críticas sin supervisión humana y el despliegue comercial a gran escala. Estas actividades requerirían una fase

posterior de industrialización, validación regulatoria, integración con infraestructuras reales y ampliación progresiva del alcance funcional.

Por tanto, el resultado final esperado es un prototipo funcional y validado en un entorno controlado, junto con una arquitectura técnica, una metodología de implantación y evidencias de validación que permitan valorar la viabilidad de una futura evolución hacia una solución operativa de mayor alcance.

3.4.IMPACTO ESPERADO Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

El proyecto OPTIR busca generar impacto principalmente en la mejora de la coordinación operativa y en la capacidad de respuesta ante situaciones dinámicas. El impacto esperado no se limita a la reducción de tiempos o desplazamientos. También incluye una mejora en la trazabilidad de las decisiones, una distribución más equilibrada de la carga de trabajo, una mayor capacidad de reacción ante incidencias y una mejor utilización de los recursos disponibles.

La evaluación del impacto se realizará mediante indicadores cuantitativos y cualitativos definidos durante la fase de análisis de requisitos. Los valores iniciales de referencia se obtendrán a partir de datos históricos, simulaciones o procedimientos operativos existentes en el entorno de validación. Posteriormente, los resultados generados por OPTIR se compararán con esta línea base para determinar si la solución aporta mejoras medibles.

3.4.1. Impacto operativo

OPTIR analizará conjuntamente disponibilidad, ubicación, prioridad, carga de trabajo y restricciones operativas. Frente a una gestión basada en consultas manuales o información dispersa, la plataforma ofrecerá alternativas comparables y trazables.

3.4.2. Impacto económico, social y ambiental

Desde una perspectiva económica, OPTIR puede contribuir a un uso más eficiente de los recursos disponibles. Una mejor asignación de personal, vehículos y equipos puede reducir

tiempos improductivos, desplazamientos innecesarios y situaciones de sobrecarga o infrautilización. La plataforma también puede facilitar la identificación de cuellos de botella y patrones operativos que permitan mejorar la planificación futura.

El impacto social se relaciona con la mejora de las condiciones de trabajo de los equipos operativos. Al proporcionar recomendaciones basadas en información actualizada, la solución puede reducir la presión asociada a la toma de decisiones en situaciones de alta carga o incertidumbre. Asimismo, una distribución más equilibrada de tareas puede contribuir a evitar sobrecargas recurrentes y mejorar la coordinación entre equipos.

En el ámbito ambiental, la reducción de desplazamientos innecesarios de vehículos y equipos puede contribuir a disminuir el consumo energético y las emisiones asociadas a la operación. Este impacto dependerá del tipo de recursos utilizados y de las características concretas del entorno, por lo que se evaluará mediante la comparación entre los recorridos y tiempos estimados antes y después de aplicar las recomendaciones de la plataforma.

3.4.3. Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Los indicadores clave de rendimiento, Tabla 3-1, permitirán evaluar si OPTIR alcanza los resultados esperados durante las pruebas de integración y la validación piloto. Los valores objetivo se considerarán umbrales iniciales de éxito y podrán ajustarse durante la fase de definición de requisitos, una vez se disponga de una línea base validada y de datos suficientes del entorno de prueba.

Tabla 3-1. Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).

Dimensión	KPI	Método de medición	Valor objetivo inicial
Eficiencia operativa	Tiempo medio de asignación de recursos	Tiempo transcurrido desde la detección de una necesidad hasta la propuesta de asignación.	Reducción $\geq$ 15 % respecto a la línea base
Tiempo de respuesta	Tiempo estimado hasta el inicio de atención	Tiempo desde la creación de una tarea hasta la llegada del recurso asignado.	Reducción $\geq$ 10 %

Dimensión	KPI	Método de medición	Valor objetivo inicial
Movilidad	Distancia total recorrida por los recursos asignados	Comparación de la distancia estimada con la alternativa de referencia.	Reducción $\geq 10 \%$
Calidad de las recomendaciones	Recomendaciones consideradas útiles	Porcentaje de recomendaciones valoradas como útiles por usuarios operativos.	$\geq 80 \%$
Reasignación dinámica	Reasignaciones completadas correctamente	Porcentaje de tareas reajustadas sin incumplir restricciones operativas.	$\geq 90 \%$
Rendimiento técnico	Tiempo medio de generación de una recomendación	Tiempo desde la recepción de los datos hasta la generación de una alternativa.	≤ 5 minutos
Disponibilidad	Disponibilidad de la plataforma durante el piloto	Tiempo de servicio disponible respecto al tiempo planificado de prueba.	$\geq 95 \%$
Calidad de datos	Compleitud de los datos críticos	Porcentaje de campos críticos disponibles y válidos.	$\geq 95 \%$
Usabilidad	Satisfacción de usuarios	Cuestionario de valoración en escala de 1 a 5.	$\geq 4/5$
Sostenibilidad	Reducción estimada de desplazamientos innecesarios	Comparación de recorridos estimados antes y después de aplicar OPTIR.	Tendencia de mejora demostrable

Fuente: Elaboración propia.

Los KPI se revisarán de forma conjunta durante la validación. El cumplimiento de un único indicador no será suficiente para considerar que la solución ha alcanzado el impacto esperado. La evaluación tendrá en cuenta el equilibrio entre eficiencia, utilidad operativa, rendimiento técnico, calidad de datos y aceptación por parte de los usuarios.

3.4.4. Limitaciones y factores externos

El impacto real de OPTIR dependerá de factores que no están completamente bajo control del proyecto. Entre ellos se encuentran la disponibilidad y calidad de los datos operativos, el acceso a sistemas externos, la participación de usuarios durante el piloto, las restricciones de seguridad del entorno aeroportuario y la posibilidad de integrar la solución con los procedimientos existentes.

Además, los resultados obtenidos en un piloto controlado no podrán extrapolarse automáticamente a una implantación completa. Una futura adopción a gran escala requeriría ampliar el número de casos de uso, integrar nuevas fuentes de datos, realizar pruebas durante un periodo más prolongado y analizar requisitos adicionales.

Por este motivo, los resultados del proyecto se interpretarán como evidencias de viabilidad y potencial de impacto. La validación permitirá identificar qué funcionalidades generan mayor valor, qué condiciones son necesarias para una implantación posterior y qué aspectos deberán reforzarse antes de extender OPTIR a otros entornos o procesos operativos.

3.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de un sistema de optimización dinámica de rutas y recursos como el propuesto requiere una metodología de trabajo capaz de combinar una planificación rigurosa con la flexibilidad necesaria para afrontar la complejidad técnica del proyecto. Por este motivo, se ha definido un enfoque híbrido que combina metodologías tradicionales de gestión de proyectos con metodologías ágiles orientadas al desarrollo de software.

La planificación global del proyecto se estructura siguiendo las directrices establecidas por el Project Management Body of Knowledge (PMBOK) del Project Management. Este marco proporciona una base sólida para la definición del alcance, la planificación temporal, la asignación de recursos, la estimación de costes y la gestión de riesgos, aspectos especialmente relevantes en proyectos tecnológicos con un elevado grado de innovación y múltiples áreas de trabajo interrelacionadas.

El desarrollo de la solución tecnológica se apoya en la metodología Kanban (Castillo Anzules & Guaña Moya, 2024) debido a las características específicas del sistema. La arquitectura

propuesta contempla diferentes módulos funcionales que pueden desarrollarse de forma relativamente independiente, incluyendo el modelo de representación de entornos mediante nodos y conexiones, los algoritmos de optimización, los mecanismos de gestión de recursos, la integración de datos en tiempo real y las herramientas de visualización y apoyo a la toma de decisiones.

La utilización de Kanban permite gestionar de forma eficiente este conjunto de actividades mediante un flujo continuo de trabajo, facilitando la priorización dinámica de tareas, la identificación temprana de bloqueos y la coordinación entre equipos técnicos. Además, esta metodología ofrece una elevada capacidad de adaptación ante cambios en requisitos técnicos o necesidades detectadas durante el desarrollo.

Frente a otras metodologías ágiles como Scrum, Kanban presenta ventajas relevantes para este proyecto. La solución propuesta no se orienta inicialmente a un único cliente o usuario final, sino que se concibe como una plataforma adaptable a distintos sectores operativos, como hospitales, centros logísticos o infraestructuras aeroportuarias. En este contexto, la gestión basada en flujo continuo resulta más adecuada que la organización mediante iteraciones cerradas y ciclos de validación periódicos característicos de Scrum.

Las fases de integración, instalación y validación piloto requieren un mayor nivel de control y coordinación debido a la necesidad de verificar el funcionamiento conjunto de todos los componentes desarrollados. Por este motivo, dichas actividades se gestionan mediante una aproximación secuencial basada en hitos y entregables previamente definidos, garantizando la trazabilidad y el control del proceso de implantación.

La gestión de riesgos se integra de forma transversal en todas las fases del proyecto mediante los principios establecidos en la norma ISO 31000 (*ISO 31000:2018(es), Gestión del riesgo — Directrices*, s. f.) y en las recomendaciones del PMI. Este enfoque permite identificar de forma temprana posibles amenazas relacionadas con aspectos técnicos, operativos, económicos o de integración, así como establecer medidas preventivas y planes de contingencia que reduzcan su impacto potencial sobre el desarrollo del sistema.

En conjunto, PMBOK proporciona el marco de planificación y control, mientras que Kanban facilita la gestión flexible del desarrollo técnico.

4. DESARROLLO DE LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Una vez definida la solución propuesta, este capítulo desarrolla la planificación necesaria para ejecutar el proyecto OPTIR. El proyecto tiene como objetivo desarrollar, integrar y validar una primera versión funcional. Para ello, se plantea una colaboración entre empresas tecnológicas, un centro de investigación y una entidad operadora que participa como entorno piloto.

Los apartados siguientes recogen la planificación de actividades y esfuerzos, el cronograma, el presupuesto, la gestión de riesgos, los mecanismos de calidad y la evaluación prevista para la solución.

4.1.DEFINICIÓN DE PERFILES DE TRABAJO

El proyecto combina actividades de desarrollo software, investigación aplicada, integración tecnológica y validación operativa. Ninguna organización dispone por sí sola de todas las capacidades necesarias para abordar estas áreas de forma eficiente, por lo que se plantea un modelo de colaboración basado en un consorcio de entidades especializadas.

Esta estructura permite aprovechar la experiencia de cada organización en su ámbito de conocimiento y repartir las responsabilidades de acuerdo con las necesidades de cada fase del proyecto. De esta manera, el desarrollo de la plataforma, la integración con sistemas externos y la validación en entorno real pueden realizarse de forma coordinada.

4.1.1. Consorcio del proyecto

El consorcio está formado por cuatro entidades con perfiles complementarios que cubren las principales áreas de trabajo necesarias para el desarrollo y validación del sistema.

4.1.1.1. NEXORA Technologies– Coordinador del proyecto

NEXORA Technologies actúa como entidad coordinadora y responsable del desarrollo de la plataforma. Su actividad se centra en el diseño de soluciones software orientadas a la optimización de procesos, la gestión operativa y el apoyo a la toma de decisiones.

Dentro del proyecto será responsable de la definición de la arquitectura del sistema, el desarrollo de la plataforma, la implementación de los algoritmos de optimización y la coordinación técnica entre todos los socios del consorcio. Asimismo, asumirá la gestión global del proyecto, el seguimiento de la planificación, la coordinación de entregables y la consolidación de los resultados obtenidos durante la validación piloto.

4.1.1.2. GMV – Integración tecnológica

GMV participa como socio tecnológico encargado de las actividades de integración e implantación. La compañía cuenta con una amplia experiencia en sectores como el aeroespacial, el transporte, la defensa y las infraestructuras críticas, donde la gestión de datos en tiempo real y la coordinación de operaciones son elementos fundamentales.

Su papel consistirá en la integración de la plataforma con sistemas externos, la definición de la infraestructura tecnológica necesaria para el despliegue y el soporte durante las fases de instalación y puesta en marcha.

4.1.1.3. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) – Investigación y validación científica

La UPC participa como socio científico del proyecto. Su experiencia en investigación operativa, inteligencia artificial, optimización matemática y análisis de datos permitirá reforzar el desarrollo de los modelos de optimización utilizados por la plataforma.

Además, colaborará en la definición de métricas de rendimiento, la validación de los algoritmos desarrollados y la evaluación de los resultados obtenidos durante las pruebas piloto.

4.1.1.4. Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat (Aena) – Entidad piloto

El Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat actuará como entorno de validación del sistema. Su participación permitirá trabajar sobre necesidades operativas reales y disponer de un escenario adecuado para evaluar el comportamiento de la plataforma en condiciones de operación complejas.

La entidad colaborará en la definición de requisitos, la identificación de casos de uso y la ejecución de las pruebas piloto necesarias para validar la solución desarrollada.

La combinación de estas cuatro entidades permite cubrir todo el ciclo de vida del proyecto, desde la investigación y el desarrollo hasta la implantación y validación operativa.

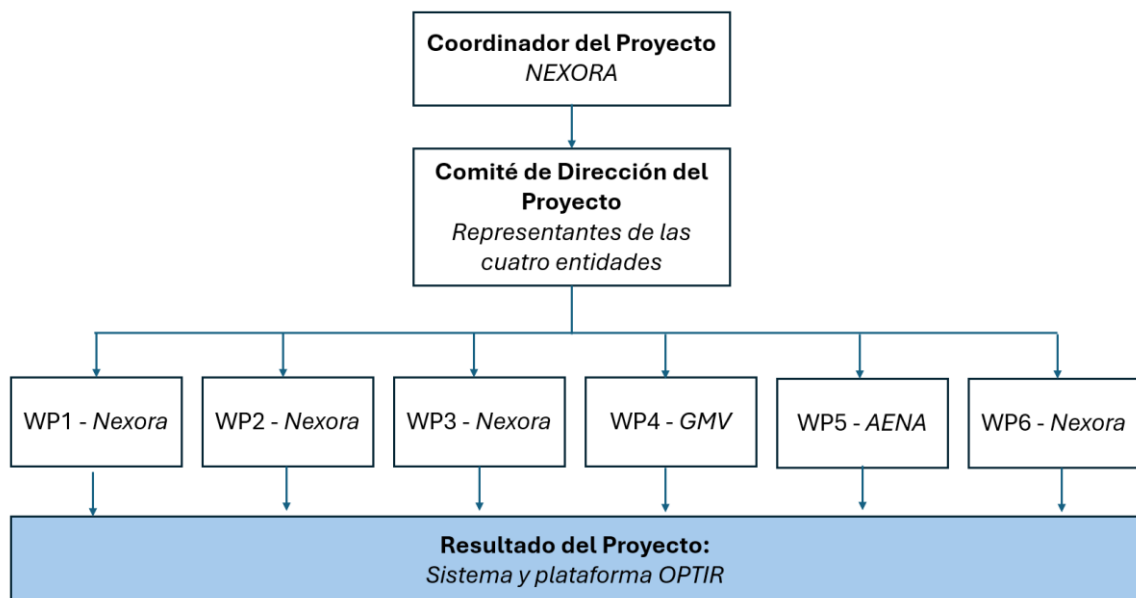
4.1.2. Organigrama del proyecto

La organización del proyecto OPTIR se estructura en distintos niveles de coordinación y responsabilidad. En el nivel superior, el Comité de Dirección reúne a representantes de las cuatro entidades del consorcio y supervisa las decisiones estratégicas, los hitos principales y las posibles desviaciones de alcance, plazo o presupuesto.

La coordinación general recae en NEXORA Technologies, como entidad coordinadora. La ejecución se organiza mediante los paquetes de trabajo, liderados por las entidades con mayor responsabilidad en cada ámbito. De este modo, se mantiene una coordinación común sin perder la especialización técnica de cada socio.

La Figura 4-1 muestra la estructura organizativa y la distribución general de responsabilidades del proyecto.

Figura 4-1. Organigrama y estructura de coordinación del proyecto OPTIR.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Perfiles requeridos

La ejecución de las actividades previstas requiere un equipo multidisciplinar formado por perfiles de gestión, desarrollo software, investigación, integración tecnológica y validación operativa.

Los perfiles principales identificados son los siguientes:

- Coordinador del proyecto.
- Arquitecto software.
- Ingeniero de optimización.
- Desarrollador backend.
- Desarrollador frontend.
- Ingeniero de integración.
- Especialista en infraestructuras y comunicaciones.
- Responsable operativo del entorno piloto.
- Ingeniero de calidad y validación.

La dedicación de cada perfil variará a lo largo del proyecto según las actividades previstas en cada paquete de trabajo. Los perfiles de coordinación y gestión estarán presentes durante toda la ejecución, mientras que los perfiles de desarrollo, integración y validación concentrarán su esfuerzo en las fases técnicas y de piloto.

4.1.4. Roles y responsabilidades

Los perfiles definidos se distribuyen entre las entidades participantes de acuerdo con sus capacidades y responsabilidades dentro del consorcio. NEXORA asumirá la coordinación general del proyecto, la arquitectura de la plataforma y el desarrollo de los módulos principales. GMV liderará las actividades de integración tecnológica, infraestructura y ciberseguridad. La UPC participará en el diseño y validación de los algoritmos de optimización y en el análisis de resultados. Aena aportará el conocimiento operativo necesario para definir los requisitos y validar la solución durante el piloto.

La distribución de responsabilidades entre las entidades se recoge en la matriz RACI, Tabla 4-1. Esta herramienta permite identificar quién ejecuta cada actividad, quién asume la responsabilidad final sobre sus resultados, qué socios deben ser consultados y cuáles deben ser informados.

Se emplea la siguiente codificación:

- **A - Accountable:** responsable último de la actividad y de la aprobación de sus resultados.
- **R - Responsible:** responsable de ejecutar directamente la actividad.
- **C - Consulted:** entidad que participa aportando conocimiento, validación o asesoramiento.
- **I - Informed:** entidad que debe ser informada de la evolución o de los resultados.

Tabla 4-1. *Matriz RACI de responsabilidades del consorcio*

Actividad	NEXORA	Aena	GMV	UPC
Gestión global del proyecto	A/R	C	C	C
Coordinación técnico-científica	A	C	R	R
Definición de requisitos y procesos operativos	R	A/R	C	C
Arquitectura técnica y desarrollo de la plataforma	A/R	C	R	C
Diseño y validación de algoritmos de optimización	A	C	R	R
Integración con datos, sistemas e infraestructura aeroportuaria	A	R	R	C
Ciberseguridad, control de accesos y cumplimiento técnico	A	C	R	C
Pruebas piloto y validación operativa	A	R	C	C
Formación, adopción y gestión del cambio	A	R	C	C
Difusión, explotación y sostenibilidad	A/R	C	C	C

Fuente: Elaboración propia.

La matriz se aplicará como referencia durante la ejecución del proyecto y podrá concretarse a nivel de paquete de trabajo o tarea cuando sea necesario. Asimismo, los responsables de los indicadores de calidad, riesgos críticos y acciones correctivas se asignarán de acuerdo con esta distribución.

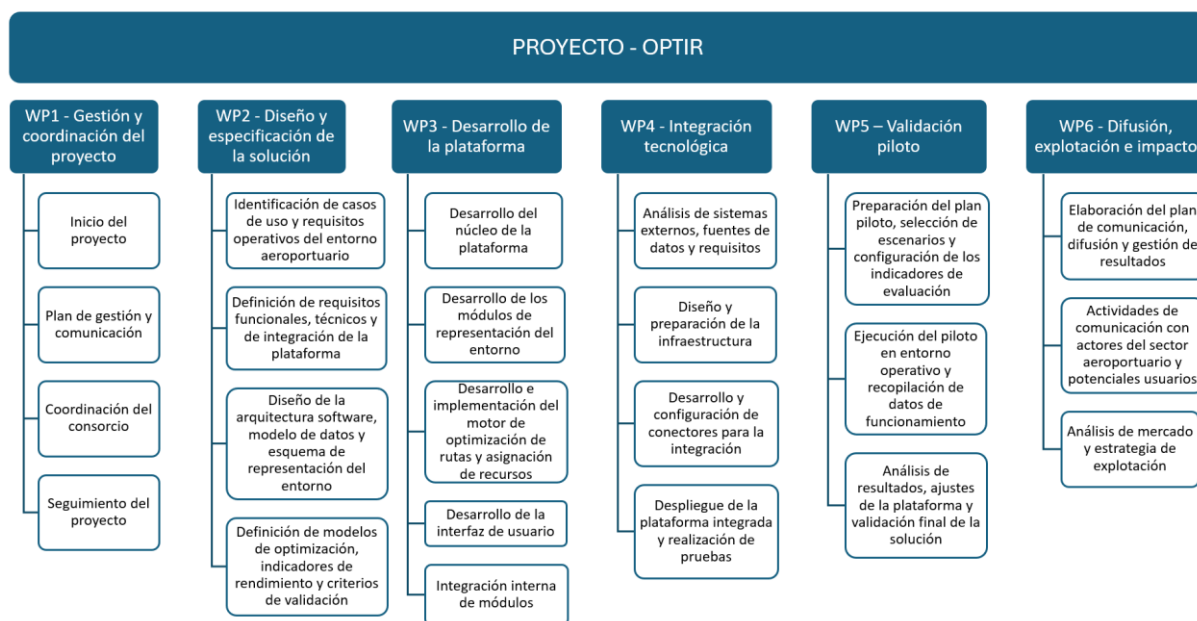
4.2. PLANIFICACIÓN DE TAREAS Y ESFUERZOS

4.2.1. EDT, hitos y entregables

La planificación del proyecto se ha estructurado mediante una Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), que permite dividir el alcance global en paquetes de trabajo y tareas concretas. Esta estructura facilita la organización de las actividades, la asignación de responsabilidades y la posterior elaboración del cronograma y del presupuesto.

La Figura 4-2 muestra la EDT del proyecto OPTIR. El primer nivel corresponde al proyecto global; el segundo nivel recoge los seis paquetes de trabajo definidos; y el tercer nivel incluye las tareas principales asociadas a cada paquete. Esta descomposición permite identificar las relaciones entre las fases de análisis, desarrollo, integración y validación del sistema.

Figura 4-2. Estructura de Desglose del Trabajo (EDT).



Fuente: Elaboración propia.

Los entregables son los resultados técnicos o documentales generados durante el desarrollo del proyecto. Cada entregable se vincula a un paquete de trabajo, una entidad responsable y una fecha prevista de entrega. La Tabla 4-2 recoge los principales entregables definidos.

Tabla 4-2. *Entregables definidos para el proyecto*

Código	Entregable	Responsable	Fecha
D1.1	Plan de gestión del proyecto	OPTIR	M1
D1.2	Plan de comunicación y coordinación	OPTIR	M2
D1.3	Informe final de seguimiento	OPTIR	M18
D2.1	Documento de casos de uso y requisitos operativos	AENA	M2
D2.2	Especificación de requisitos funcionales y técnicos	OPTIR	M2
D2.3	Documento de arquitectura y modelo de datos	OPTIR	M3
D3.1	Núcleo funcional de la plataforma	OPTIR	M6
D3.2	Motor de optimización integrado	UPC	M10
D3.3	Versión funcional de OPTIR	OPTIR	M12
D4.1	Documento de integración e infraestructura	GMV	M10
D4.2	Conectores con sistemas externos	GMV	M12
D4.3	Plataforma integrada en entorno controlado	GMV	M13
D5.1	Plan de validación piloto	AENA	M13
D5.2	Informe de pruebas iniciales	AENA	M14
D5.3	Informe de resultados y validación final	UPC	M17
D6.1	Plan de comunicación y difusión	OPTIR	M2
D6.2	Estrategia de explotación y transferencia	OPTIR	M15
D6.3	Informe final de difusión y transferencia	OPTIR	M18

Fuente: Elaboración propia.

Los hitos son puntos de control que permiten comprobar el avance del proyecto y confirmar la finalización de fases relevantes. A diferencia de los entregables, no representan necesariamente un documento o producto concreto, sino la consecución de un resultado que permite avanzar hacia la siguiente fase.

La Tabla 4-3 recoge los hitos principales definidos para el proyecto.

Tabla 4-3. Hitos definidos para el proyecto

Código	Hitos	Fecha
MS1.1	Proyecto iniciado y estructura de coordinación operativa	M1
MS1.2	Seguimiento final y cierre administrativo del proyecto	M18
MS2.1	Requisitos operativos y técnicos validados	M2
MS2.2	Arquitectura de la solución aprobada	M3
MS3.1	Núcleo de la plataforma disponible	M6
MS3.2	Versión funcional de OPTIR preparada para integración	M12
MS4.1	Infraestructura y conectores preparados	M12
MS4.2	Plataforma integrada y desplegada en entorno controlado	M13
MS5.1	Inicio de las pruebas piloto	M14
MS5.2	Validación piloto completada	M17
MS6.1	Estrategia de explotación definida	M15
MS6.2	Resultados transferidos y proyecto difundido	M18

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Paquetes de trabajo

La ejecución del proyecto OPTIR se organiza en seis paquetes de trabajo (Work Packages, WP), que agrupan las actividades necesarias para alcanzar los objetivos definidos. Esta estructura permite dividir el proyecto en bloques de trabajo coherentes, asignar responsabilidades claras a cada entidad y facilitar el seguimiento de la planificación.

A continuación, se presenta una tabla descriptiva para cada paquete de trabajo. En ellas se indica el objetivo del WP, su periodo de ejecución, la entidad responsable y los socios participantes. Asimismo, se detallan las principales tareas previstas, los entregables asociados y los hitos que permiten comprobar el avance del proyecto.

La información recogida en estos paquetes de trabajo servirá como base para la estimación de esfuerzos, la elaboración del cronograma, el seguimiento de riesgos y la evaluación de los resultados del proyecto.

Tabla 4-4. Tabla WP1 - Gestión y coordinación del proyecto

Nombre del paquete	WP1		Fecha Inicio	M1	
			Fecha Fin	M18	
Título paquete de trabajo	Gestión y coordinación del proyecto				
Nombre participante	NEXORA	GMV	UPC	AENA	
Responsable del paquete	NEXORA				
Objetivos: El objetivo de este WP es garantizar la correcta planificación, coordinación y seguimiento del proyecto durante todo su ciclo de vida, asegurando el cumplimiento de los plazos, la adecuada comunicación entre los miembros del consorcio y la correcta gestión de los recursos técnicos y económicos disponibles.					
Tareas					
Código	Descripción		Respo.	Inicio	Fin
T1.1	Inicio del proyecto		NEXORA	M1	M1
T1.2	Plan de gestión y comunicación		NEXORA	M1	M18
T1.3	Coordinación del consorcio		NEXORA	M1	M18
T1.4	Seguimiento del proyecto		NEXORA	M2	M18
Entregables					
Código	Descripción		Responsable		Fecha
D1.1	Plan de gestión del proyecto		NEXORA		M1
D1.2	Plan de comunicación y coordinación		NEXORA		M2
D1.3	Informe final de seguimiento		NEXORA		M18
Hitos					
Código	Descripción			Fecha	
MS1.1	Proyecto iniciado y estructura de coordinación			M1	
MS1.2	Seguimiento final y cierre administrativo del proyecto			M18	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-5. Tabla WP2 - Diseño y especificación de la solución

Nombre del paquete	WP2		Fecha Inicio	M1	
			Fecha Fin	M3	
Título paquete de trabajo	Diseño y especificación de la solución				
Nombre participante	NEXORA	GMV	UPC	AENA	
Responsable del paquete	NEXORA				
Objetivos: Definir los requisitos funcionales y técnicos del sistema, diseñar la arquitectura general de la plataforma y establecer el modelo conceptual que permitirá representar entornos operativos.					
Tareas					
Código	Descripción		Respo.	Inicio	Fin
T2.1	Identificación de casos de uso y requisitos operativos del entorno aeroportuario		AENA	M1	M2
T2.2	Definición de requisitos funcionales, técnicos y de integración de la plataforma		NEXORA	M1	M2
T2.3	Diseño de la arquitectura software, modelo de datos y esquema de representación del entorno		NEXORA	M2	M3
T2.4	Definición de modelos de optimización, indicadores de rendimiento y criterios de validación		UPC	M2	M3
Entregables					
Código	Descripción		Responsable	Fecha	
D2.1	Documento de casos de uso y requisitos operativos		AENA	M2	
D2.2	Especificación de requisitos funcionales y técnicos		NEXORA	M2	
D2.3	Documento de arquitectura y modelo de datos		NEXORA	M3	
Hitos					
Código	Descripción			Fecha	
MS2.1	Requisitos operativos y técnicos validados			M2	
MS2.2	Arquitectura de la solución aprobada			M3	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-6. Tabla WP3 - Desarrollo de la plataforma

Nombre del paquete	WP3	Fecha Inicio	M3		
		Fecha Fin	M12		
Título paquete de trabajo	Desarrollo de la plataforma				
Nombre participante	NEXORA		UPC		
Responsable del paquete	NEXORA				
Objetivos: Desarrollar la primera versión operativa de la plataforma OPTIR, incluyendo los módulos de gestión de recursos, representación de entornos Y optimización de rutas.					
Tareas					
Código	Descripción		Respo.	Inicio	Fin
T3.1	Desarrollo del núcleo de la plataforma		NEXORA	M3	M6
T3.2	Desarrollo de los módulos de representación del entorno		NEXORA	M4	M8
T3.3	Desarrollo e implementación del motor de optimización de rutas y asignación de recursos		UPC	M4	M10
T3.4	Desarrollo de la interfaz de usuario		NEXORA	M6	M11
T3.5	Integración interna de módulos		NEXORA	M10	M12
Entregables					
Código	Descripción		Responsable	Fecha	
D3.1	Núcleo funcional de la plataforma		NEXORA	M6	
D3.2	Motor de optimización integrado		UPC	M10	
D3.3	Versión funcional de OPTIR		NEXORA	M12	
Hitos					
Código	Descripción			Fecha	
MS3.1	Núcleo de la plataforma disponible			M6	
MS3.2	Versión funcional de OPTIR preparada para integración			M12	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-7. Tabla WP4 - Integración tecnológica

Nombre del paquete	WP4		Fecha Inicio	M8	
			Fecha Fin	M13	
Título paquete de trabajo	Integración tecnológica				
Nombre participante	NEXORA	GMV		AENA	
Responsable del paquete	GMV				
Objetivos: Integrar la plataforma con las fuentes de información y sistemas externos necesarios para su funcionamiento, así como preparar la infraestructura tecnológica requerida para la ejecución de las pruebas piloto.					
Tareas					
Código	Descripción		Respo.	Inicio	Fin
T4.1	Análisis de sistemas externos, fuentes de datos y requisitos		GMV	M8	M9
T4.2	Diseño y preparación de la infraestructura		GMV	M9	M10
T4.3	Desarrollo y configuración de conectores para la integración		GMV	M10	M12
T4.4	Despliegue de la plataforma integrada y realización de pruebas		GMV	M12	M13
Entregables					
Código	Descripción		Responsable		Fecha
D4.1	Documento de integración e infraestructura		GMV		M10
D4.2	Conectores con sistemas externos		GMV		M12
D4.3	Plataforma integrada en entorno controlado		GMV		M13
Hitos					
Código	Descripción			Fecha	
MS4.1	Infraestructura y conectores preparados			M12	
MS4.2	Plataforma integrada y desplegada			M13	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-8. Tabla WP5 - Validación piloto

Nombre del paquete	WP5		Fecha Inicio	M12	
			Fecha Fin	M17	
Título paquete de trabajo	Validación piloto				
Nombre participante	NEXORA	GMV	UPC	AENA	
Responsable del paquete	AENA				
Objetivos: Evaluar el comportamiento de la plataforma OPTIR en un entorno operativo real, verificando su capacidad para mejorar la asignación de recursos, optimizar tiempos de respuesta y apoyar la toma de decisiones mediante el análisis de indicadores de rendimiento previamente definidos.					
Tareas					
Código	Descripción		Respo.	Inicio	Fin
T5.1	Preparación del plan piloto, selección de escenarios y configuración de los indicadores de evaluación		AENA	M12	M13
T5.2	Ejecución del piloto en entorno operativo y recopilación de datos de funcionamiento		AENA	M13	M16
T5.3	Análisis de resultados, ajustes de la plataforma y validación final de la solución		UPC	M16	M17
Entregables					
Código	Descripción		Responsable	Fecha	
D5.1	Plan de validación piloto		AENA	M13	
D5.2	Informe de pruebas iniciales		AENA	M14	
D5.3	Informe de resultados y validación final		UPC	M17	
Hitos					
Código	Descripción			Fecha	
MS5.1	Inicio de las pruebas piloto			M14	
MS5.2	Validación piloto completada			M17	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-9. Tabla WP6 - Difusión, explotación e impacto

Nombre del paquete	WP6		Fecha Inicio	M1	
			Fecha Fin	M18	
Título paquete de trabajo	Difusión, explotación e impacto				
Nombre participante	NEXORA	GMV	UPC	AENA	
Responsable del paquete	NEXORA				
Objetivos: Maximizar el impacto del proyecto mediante actividades de comunicación, difusión y transferencia de resultados, así como definir una estrategia de explotación que permita la evolución futura de la plataforma y su adopción en diferentes sectores operativos.					
Tareas					
Código	Descripción		Respo.	Inicio	Fin
T6.1	Elaboración del plan de comunicación, difusión y gestión de resultados		NEXORA	M1	M2
T6.2	Actividades de comunicación con actores del sector aeroportuario y potenciales usuarios		NEXORA	M3	M18
T6.3	Análisis de mercado y estrategia de explotación		NEXORA	M6	M18
Entregables					
Código	Descripción		Responsable	Fecha	
D6.1	Plan de comunicación y difusión		NEXORA	M2	
D6.2	Estrategia de explotación y transferencia		NEXORA	M15	
D6.3	Informe final de difusión y transferencia		NEXORA	M18	
Hitos					
Código	Descripción			Fecha	
MS6.1	Estrategia de explotación definida			M15	
MS6.2	Resultados transferidos y proyecto difundido			M18	

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Actividades y esfuerzos

Las actividades del proyecto se han definido en la EDT y se agrupan en los seis paquetes de trabajo descritos anteriormente. Para estimar los recursos necesarios, el esfuerzo se expresa en personas-mes, entendidas como la dedicación equivalente de una persona a tiempo completo durante un mes.

Asimismo, se ha calculado la equivalencia en horas de trabajo, considerando una dedicación estándar de 160 horas por persona-mes. Esta equivalencia permite relacionar la planificación de esfuerzos con la estimación de costes de personal y con la asignación de recursos de cada entidad participante.

La distribución del esfuerzo se ha realizado teniendo en cuenta la complejidad técnica de las actividades, la duración de cada fase y la participación prevista de los socios del consorcio. La Tabla 4-10 recoge el esfuerzo estimado por paquete de trabajo y entidad participante, expresado tanto en personas-mes como en horas de dedicación.

Tabla 4-10. *Tabla de actividades y esfuerzos en personas/mes y en horas*

Actividad	OPTIR	GMV	UPC	AENA	TOTAL	TOTAL (h)
WP1	4,3	1,0	0,9	0,9	7,1	1.136
T1.1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,8	128
T1.2	0,8	0,2	0,1	0,1	1,2	192
T1.3	1,5	0,4	0,4	0,4	2,7	432
T1.4	1,5	0,3	0,3	0,3	2,4	384
WP2	4,1	1,3	2,9	1,7	10,0	1.600
T2.1	0,5	0,2	0,5	1,0	2,2	352
T2.2	1,5	0,4	0,4	0,3	2,6	416
T2.3	1,5	0,5	0,5	0,2	2,7	432
T2.4	0,6	0,2	1,5	0,2	2,5	400
WP3	21,5	-	7,0	-	28,5	4.560
T3.1	6,5	-	0,5	-	7,0	1.120
T3.2	5,5	-	0,5	-	6,0	960
T3.3	1,5	-	5,5	-	7,0	1.120
T3.4	5,0	-	-	-	5,0	800
T3.5	3,0	-	0,5	-	3,5	560

Actividad	OPTIR	GMV	UPC	AENA	TOTAL	TOTAL (h)
WP4	2,4	7,4	-	0,6	10,4	1.664
T4.1	0,3	1,0	-	0,2	1,5	240
T4.2	0,4	1,6	-	-	2,0	320
T4.3	1,0	2,8	-	0,2	4,0	640
T4.4	0,7	2,0	-	0,2	2,9	464
WP5	1,6	0,8	3,1	3,5	9,0	1.440
T5.1	0,3	0,2	0,5	1,0	2,0	320
T5.2	0,8	0,4	0,8	2,0	4,0	640
T5.3	0,5	0,2	1,8	0,5	3,0	480
WP6	3,6	0,9	0,8	0,7	6,0	960
T6.1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,9	144
T6.2	2,2	0,6	0,5	0,4	3,7	592
T6.3	0,8	0,2	0,2	0,2	1,4	224
TOTAL	37,5	11,4	14,7	7,4	71,0	11.360

Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte del esfuerzo se concentra en WP3, ya que incluye el desarrollo del núcleo software, los módulos de representación del entorno, el motor de optimización, la interfaz de usuario y las pruebas internas. Los paquetes WP4 y WP5 concentran las actividades necesarias para integrar la plataforma, desplegarla en el entorno piloto y validar sus resultados.

La Tabla 4-11 muestra la distribución total de esfuerzos por entidad y el porcentaje que representa cada participante sobre el esfuerzo global del proyecto.

Tabla 4-11. *Distribución del esfuerzo por entidad*

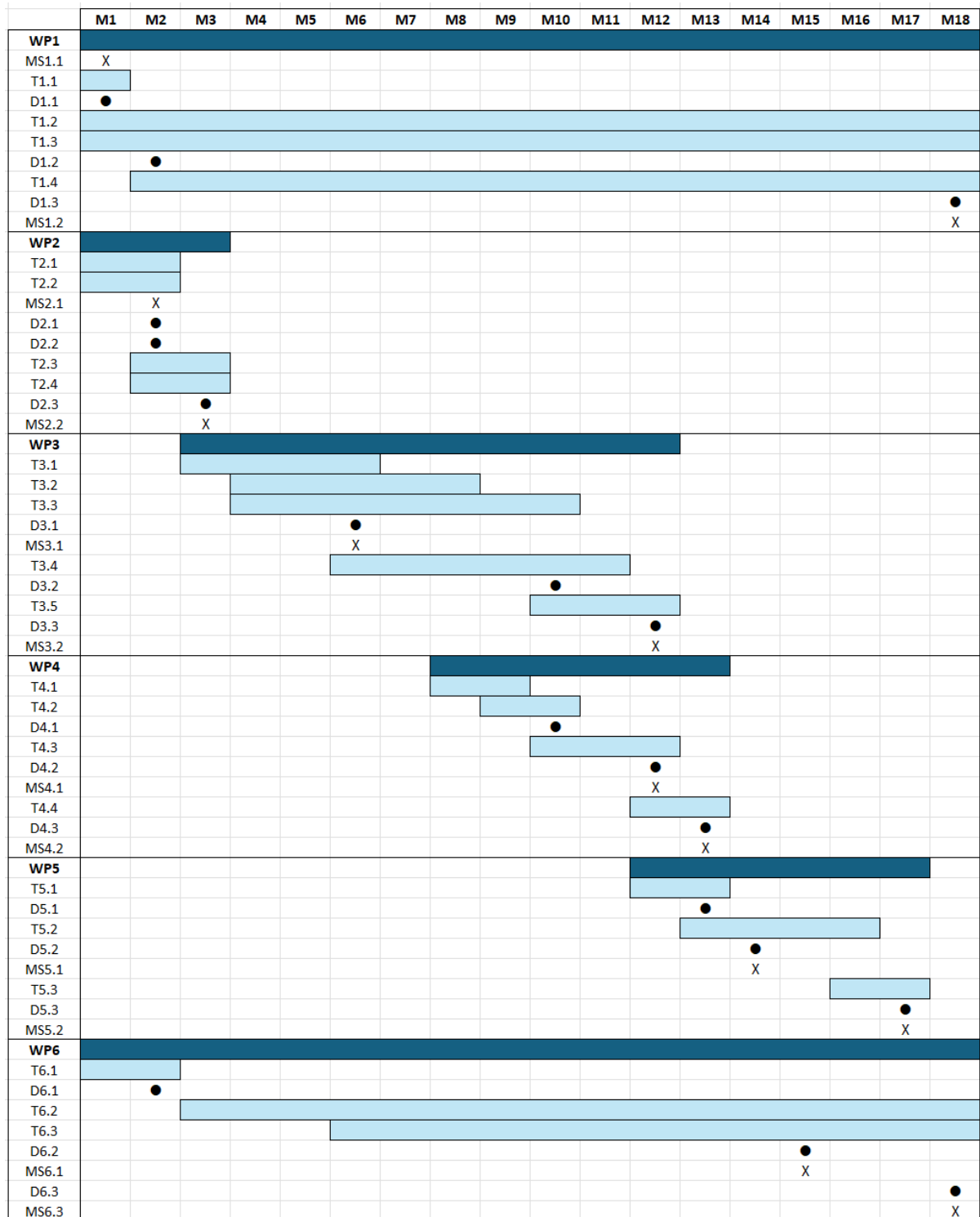
Entidad	Esfuerzo estimado (personas / mes)	Porcentaje sobre el total
OPTIR	37,5	52,8 %
GMV	11,4	16,1 %
UPC	14,7	20,7 %
AENA	7,4	10,4 %
TOTAL	71,0	100 %

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Cronograma (Gantt)

A continuación, se presenta diagrama de Gantt como representación del cronograma del proyecto.

Figura 4-3. Diagrama de Gantt del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia

4.3.DISEÑO Y CÁLCULO DEL PRESUPUESTO

El presupuesto del proyecto OPTIR se ha elaborado a partir de la planificación técnica, la EDT y la distribución de esfuerzos entre las entidades participantes. Se ha aplicado un enfoque ascendente o *bottom-up*, estimando primero los recursos necesarios para cada actividad y agrupándolos posteriormente en partidas presupuestarias.

Este método permite mantener la relación entre las tareas previstas, los recursos asignados y el coste total del proyecto. El coste de personal se calcula a partir de las personas-mes asignadas a cada entidad, mientras que el resto de costes responde a las necesidades de desarrollo, integración, validación piloto y gestión.

El presupuesto recoge el coste total de ejecución del consorcio durante los dieciocho meses previstos. Las cantidades se expresan en euros y sin IVA. La estructura presupuestaria distingue entre costes directos e indirectos, incluyendo personal, equipamiento y servicios necesarios para ejecutar el proyecto.

4.3.1. Presupuesto global

El coste total estimado para la ejecución del proyecto OPTIR asciende a **471.837 €**. La mayor parte del presupuesto corresponde a costes de personal, debido a que el proyecto se basa principalmente en actividades de desarrollo software, investigación aplicada, integración tecnológica, validación operativa y coordinación entre los miembros del consorcio.

Tabla 4-12. Partida presupuestaria global

Partida presupuestaria	Importe (€)	Porcentaje sobre el total
Costes de personal	307.970	65,3 %
Equipamiento e infraestructura técnica	23.500	5,0 %
Software, licencias y servicios cloud	22.500	4,8 %
Viajes, validación piloto y difusión	13.500	2,9 %
Servicios especializados externos	10.000	2,1 %
Costes indirectos	94.367	20,0 %
Total presupuesto del proyecto	471.837	100,0 %

Fuente: Elaboración propia.

Los costes indirectos se han calculado mediante una tasa del 25 % aplicada sobre los costes directos elegibles, excluyendo la subcontratación y determinados costes externos.

La distribución presupuestaria refleja la naturaleza del proyecto. El desarrollo de la plataforma y los algoritmos de optimización requiere una dedicación elevada de personal especializado de NEXORA y UPC. Por su parte, GMV concentra sus recursos en las actividades de integración e infraestructura, mientras que Aena participa principalmente en la definición de requisitos operativos, la preparación del piloto y la validación de la solución en el entorno aeroportuario.

4.3.2. Presupuesto por partidas

4.3.2.1. Costes de personal

El coste de personal se ha calculado a partir de la distribución de esfuerzos presentada en el apartado 4.2.3. Se considera una equivalencia de 160 horas por persona-mes. Para cada entidad se ha aplicado un coste mensual medio completo, que incluye retribución, cotizaciones sociales y costes asociados al puesto de trabajo.

Tabla 4-13. Partida presupuestaria coste de personal

Entidad	Pers/mes	Horas estimadas	Coste medio por persona-mes (€)	Coste de personal (€)
NEXORA	37,5	6.000	4.200	157.500
GMV	11,4	1.824	4.800	54.720
UPC	14,7	2.352	4.500	66.150
Aena	7,4	1.184	4.000	29.600
Total	71,0	11.360	—	307.970

Fuente: Elaboración propia.

La estimación asigna a NEXORA la mayor carga de personal, ya que esta entidad coordina el proyecto y desarrolla la mayor parte de la plataforma. La participación de UPC se concentra en los modelos de optimización, los indicadores de rendimiento y el análisis final de resultados. GMV asume las tareas de integración con fuentes externas, conectores,

infraestructura y despliegue. Aena aporta conocimiento operativo, participa en la definición de casos de uso y requisitos, y lidera las actividades relacionadas con el piloto.

4.3.2.2. Equipamiento e infraestructura técnica

Esta partida cubre el equipamiento necesario para desarrollar, integrar y validar la primera versión de la plataforma. No se contempla el despliegue de una nueva red de sensores ni la adquisición de infraestructura aeroportuaria, ya que el piloto se basa en la integración con sistemas y fuentes de información existentes, así como en datos de prueba o simulados cuando sea necesario.

Tabla 4-14. *Partida presupuestaria de Equipamiento e Infraestructura*

Concepto	Unidades	Importe (€)
Servidor de cálculo y entorno de pruebas	1	8.000
Equipos de desarrollo e integración	3	6.000
Almacenamiento, copias de seguridad y red de laboratorio	1	4.500
Dispositivos y accesorios para pruebas de integración	—	3.000
Adaptación del entorno controlado de validación	—	2.000
Total equipamiento e infraestructura técnica		23.500

Fuente: Elaboración propia.

La imputación de los equipos se realizará de forma proporcional a su uso durante el proyecto. En caso de que los activos continúen utilizándose después de la finalización, se imputará únicamente la parte correspondiente a su amortización durante los dieciocho meses de ejecución.

4.3.2.3. Software, licencias y servicios cloud

El desarrollo de una plataforma de optimización dinámica requiere herramientas específicas para el control de versiones, integración continua, monitorización, almacenamiento de datos, simulación y despliegue de entornos de prueba.

Tabla 4-15. *Partida presupuestaria de Software, Licencias y Servicios Cloud*

Concepto	Importe (€)
Servicios cloud para desarrollo, pruebas y almacenamiento	9.000
Herramientas de desarrollo, integración continua y monitorización	5.000
Licencias de simulación, análisis y visualización de datos	5.500
Herramientas de ciberseguridad, copias de seguridad y control de accesos	3.000
Total software, licencias y servicios cloud	22.500

Fuente: Elaboración propia.

Esta partida permite mantener entornos separados de desarrollo, integración y pruebas, reduciendo el riesgo de que los cambios realizados durante el desarrollo afecten a la validación piloto.

4.3.2.4. Viajes, validación piloto y difusión

Los costes incluidos en esta partida se relacionan con la coordinación del consorcio, las actividades de validación en el entorno aeroportuario y la comunicación de resultados.

Tabla 4-16. *Partida presupuestaria de Viajes, Validación piloto y Difusión*

Concepto	Importe (€)
Reuniones presenciales de coordinación del consorcio	4.000
Desplazamientos y sesiones de trabajo en el entorno piloto	4.500

Concepto	Importe (€)
Talleres de validación con usuarios y actores operativos	2.500
Materiales, jornadas y acciones de difusión	2.500
Total viajes, validación piloto y difusión	13.500

Fuente: Elaboración propia.

Las reuniones presenciales se concentrarán especialmente en las fases de definición de requisitos, integración y validación. Las actividades de difusión se desarrollarán de forma progresiva durante el proyecto, en coherencia con las tareas previstas en el WP6.

4.3.2.5. Servicios especializados externos

La subcontratación se limita a actividades puntuales que requieren conocimientos específicos no cubiertos directamente por las entidades del consorcio. Estas actuaciones complementan el trabajo técnico, pero no sustituyen las actividades principales de desarrollo, integración o validación.

Tabla 4-17. Partida presupuestaria de Servicios especializados externos

Servicio especializado	Importe (€)
Revisión externa de ciberseguridad y pruebas de vulnerabilidad	6.000
Asesoramiento especializado en protección de datos y requisitos regulatorios	4.000
Total servicios especializados externos	10.000

Fuente: Elaboración propia.

La revisión de ciberseguridad se realizará antes de la validación piloto, con el objetivo de identificar vulnerabilidades en los mecanismos de acceso, intercambio de información y

conexión con sistemas externos. El asesoramiento regulatorio permitirá revisar el tratamiento de datos operativos y la aplicación de medidas adecuadas de protección.

4.3.2.6. Costes indirectos

Los costes indirectos cubren gastos generales necesarios para ejecutar el proyecto que no pueden asignarse de forma exclusiva a una tarea concreta. Entre ellos se incluyen el uso de instalaciones, electricidad, comunicaciones corporativas, soporte administrativo, servicios jurídicos generales, mantenimiento de equipos comunes y soporte informático no específico del proyecto.

Para esta estimación se aplica una tasa del 25 % sobre los costes directos elegibles de personal, equipamiento, software, viajes y validación, excluyendo los servicios especializados externos.

Tabla 4-18. *Partida presupuestaria de Costes Indirectos*

Base de cálculo	Porcentaje aplicado	Coste indirecto (€)
377.470€	25 %	94.367
Total costes indirectos	—	94.367

Fuente: Elaboración propia.

En conjunto, el presupuesto permite cubrir los recursos humanos, técnicos y organizativos necesarios para desarrollar una primera versión funcional de OPTIR, integrarla con fuentes de información externas y validarla en un entorno aeroportuario. La estimación podrá refinarse en fases posteriores mediante ofertas de proveedores, tarifas reales de cada entidad y requisitos específicos de la convocatoria de financiación seleccionada.

4.4.GESTIÓN DE CALIDAD Y RIESGOS

4.4.1. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad comprende las actividades destinadas a comprobar que los procesos, entregables y resultados del proyecto cumplen los requisitos definidos. En OPTIR, la calidad incluye tanto aspectos técnicos, como la fiabilidad de la plataforma, la calidad de los

datos y la integración con el entorno aeroportuario, como aspectos operativos, relacionados con la utilidad de la solución y su aceptación por parte de los usuarios.

La calidad se revisará durante la ejecución de cada paquete de trabajo y en los principales hitos del proyecto. Cuando se detecte una desviación relevante, el responsable de la actividad deberá analizar su causa y definir una acción correctiva. Las desviaciones que afecten a entregables críticos, a la integración o al piloto se comunicarán a la coordinación del proyecto.

La Tabla 4-19 recoge los principales criterios de calidad asociados a cada paquete de trabajo. Las métricas concretas utilizadas para evaluar el funcionamiento y los resultados del prototipo se desarrollan posteriormente.

Tabla 4-19. *Criterios de Calidad por Paquete de Trabajo*

Paquete de trabajo	Criterios de calidad
WP1	Cumplimiento de la planificación y trazabilidad de decisiones, riesgos y entregables.
WP2	Requisitos completos, coherentes, validados por los socios y trazables hasta las funcionalidades previstas.
WP3	Funcionalidades implementadas conforme a los requisitos, código mantenible y componentes críticos verificados mediante pruebas.
WP4	Interoperabilidad con los sistemas y datos definidos, estabilidad del entorno de pruebas y cumplimiento de requisitos de seguridad.
WP5	Ejecución de los casos de uso previstos, utilidad de las recomendaciones y aceptación por parte de los usuarios operativos.
WP6	Materiales de difusión coherentes con los resultados del proyecto y plan de explotación viable y validado por el consorcio.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Gestión de riesgos

La gestión de riesgos es un proceso continuo de identificación, análisis, respuesta y seguimiento de los eventos que puedan afectar al alcance, coste, plazo, calidad, seguridad o cumplimiento del proyecto. El registro de riesgos se revisará mensualmente y antes de cada hito relevante. Los riesgos de nivel alto o crítico se revisarán quincenalmente y se elevarán a

la coordinación del proyecto cuando requieran decisiones sobre recursos, calendario o alcance.

4.4.2.1. Criterios y métricas de evaluación

Cada riesgo se evaluará mediante cuatro factores, siguiendo la metodología utilizada en el análisis de riesgos del proyecto:

- **G — Gravedad:** severidad de las consecuencias si el riesgo se materializa.

Severidad	Característica	Valor
Muy baja	No es necesario hacer modificaciones a los objetivos del proyecto.	1
Baja	Modificaciones menores a conceptos existentes son necesarias.	2
Moderada	Cambios reconocibles a los conceptos iniciales del proyecto.	3
Alta	Modificaciones significativas a los conceptos existentes.	4
Muy alta	Nuevos conceptos y existen pocas alternativas.	5

- **I — Importancia:** relevancia del riesgo para los objetivos principales del proyecto.

Importancia	Característica	Valor
Muy baja	No es importante si el proyecto puede entregar sus resultados satisfactoriamente, incluso si el evento ocurre.	1
Baja	Es importante si el proyecto puede entregar los resultados, aunque ocurre el evento, pero puede perder valor.	2
Moderada	Muy importante cuando el proyecto puede entregar resultados, pero con una pérdida significativa de valor.	3
Alta	Fundamental, el proyecto puede entregar resultados, pero con mucha pérdida de valor.	4
Muy alta	Fundamental, significa que el proyecto no puede entregar resultados.	5

- **P — Probabilidad:** posibilidad de que el riesgo ocurra.

Probabilidad	Característica	Valor
Muy baja	Casi improbable que ocurra, pero posible.	1
Baja	Relativamente improbable que ocurra.	2
Moderada	Bastante posible.	3
Alta	Más probable que ocurra que no ocurra.	4
Muy alta	Muy probable que ocurra.	5

- **Im — Impacto:** extensión de la afectación sobre plazo, coste, alcance, calidad, seguridad o cumplimiento.

Impacto	Característica	Valor
Específico	El riesgo solo afecta a una tarea del proyecto.	1
Limitado	Implica varias tareas o grupos de tareas del proyecto, pero no su relación entre ellas.	2
Generalizado	Afecta el éxito del proyecto en general y requiere que se tomen acciones en tareas relacionadas.	3

Cada factor se valorará de 1 a 5, siendo 1 el nivel más bajo y 5 el más alto. El Número de Prioridad del Riesgo se calculará mediante la fórmula: **$NPR = G \times I \times P \times Im$**

La Tabla 4-20 muestra la clasificación de los riesgos según el resultado del calculo NPR. Esta clasificación determinará la frecuencia de seguimiento y la necesidad de activar medidas preventivas o planes de contingencia.

Tabla 4-20. Clasificación de Riesgos según NPR

Resultado calculo NPR	Gravedad
$NPR < 50$	Baja
$50 < NPR < 100$	Media
$100 < NPR < 200$	Alta
$200 < NPR$	Crítico

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2. Tabla inicial de riesgos, análisis y respuesta

Tabla 4-21. Riesgos, Análisis NPR y Mitigación

ID	Riesgo	G	I	P	Im	NPR	Estrategia de mitigación
R1	Definición insuficiente o cambios tardíos en requisitos operativos y funcionales.	5	4	4	3	240	Talleres de requisitos con usuarios, validación formal, criterios de aceptación y control de cambios.
R2	Acceso tardío, incompleto o de calidad insuficiente a datos aeroportuarios.	5	5	4	3	300	Inventario temprano de fuentes, auditoría de calidad de datos y conjuntos alternativos históricos o simulados.
R3	Incompatibilidad o retrasos en la integración con sistemas e infraestructura existente.	5	4	3	3	180	Pruebas de concepto tempranas, contratos de interfaz, prototipos de integración y pruebas progresivas.
R4	Rendimiento insuficiente de los algoritmos de optimización en escenarios operativos reales.	4	4	3	3	144	Validación con escenarios simulados y reales, comparación de alternativas, ajuste de parámetros y revisión experta.
R5	Incidencias de ciberseguridad, accesos no autorizados o incumplimiento en el tratamiento de datos.	5	5	3	3	225	Control de accesos, cifrado, registro de actividad, revisión de vulnerabilidades y validación de requisitos de seguridad.
R6	Retrasos en la planificación por dependencias, validaciones externas o falta de disponibilidad de interlocutores.	3	4	4	2	96	Hitos intermedios, seguimiento quincenal, priorización del producto mínimo viable y margen de contingencia.
R7	Baja aceptación de la solución por parte de los usuarios operativos.	4	4	3	2	96	Participación temprana de usuarios, demostraciones iterativas y pruebas de usabilidad
R8	Sobrecostos por consumo cloud, licencias, infraestructura o servicios externos.	3	3	2	2	40	Seguimiento mensual del gasto, límites de consumo y revisión presupuestaria
R9	Dependencia excesiva de proveedores, componentes externos o servicios cloud.	3	4	2	2	48	Arquitectura modular, documentación técnica, interfaces abiertas y análisis de alternativas para componentes críticos.
R10	Restricciones regulatorias, de seguridad aeroportuaria o de protección de datos que reduzcan el alcance del piloto.	5	5	2	3	150	Revisión normativa desde el inicio, minimización de datos y validaciones internas previas al despliegue.

Fuente: Elaboración propia

4.5. PLAN DE CALIDAD

El Plan de Calidad concreta los procedimientos de gestión documental, control de versiones, revisión de entregables y comunicación interna aplicables durante el proyecto.

4.5.1. Gestión documental y control de versiones

Toda la documentación generada durante el proyecto seguirá una estructura común con el objetivo de facilitar su identificación, revisión y mantenimiento. Para ello, el consorcio utilizará plantillas normalizadas para informes técnicos, garantizando una presentación homogénea y facilitando la revisión de los documentos por parte de todas las entidades participantes.

Cada documento dispondrá de un identificador único, un número de versión, la fecha de modificación, el autor responsable y el estado del documento (borrador, en revisión o aprobado). De este modo será posible conocer en todo momento cuál es la versión vigente y mantener la trazabilidad de todas las modificaciones realizadas durante el proyecto.

Toda la documentación se almacenará en un repositorio compartido con control de versiones y permisos de acceso diferenciados según el rol de cada participante. Este repositorio constituirá la fuente oficial de información del proyecto y permitirá recuperar versiones anteriores cuando resulte necesario.

4.5.2. Revisión y aceptación de entregables

Todos los entregables desarrollados durante el proyecto deberán superar un proceso común de revisión antes de su aceptación definitiva. Este procedimiento tiene como finalidad verificar que cada resultado cumple los requisitos técnicos definidos, mantiene la coherencia con el resto del proyecto y satisface los criterios de calidad establecidos en el apartado 4.4.1.

En una primera fase, el responsable del paquete de trabajo elaborará el entregable y realizará una revisión interna para comprobar su completitud y adecuación. Posteriormente, el documento será distribuido al resto de entidades implicadas, que dispondrán de un periodo de revisión para proponer observaciones, solicitar aclaraciones o identificar posibles mejoras.

Una vez incorporadas las modificaciones necesarias, el Coordinador del Proyecto validará la versión final y autorizará su aceptación. Si durante la revisión se detectan incumplimientos relevantes, el entregable volverá a la fase de elaboración hasta resolver las incidencias identificadas.

Este procedimiento permite garantizar la calidad técnica de la documentación, favorecer la participación de todas las entidades del consorcio y asegurar la trazabilidad del proceso de revisión.

4.5.3. Comunicación, coordinación y seguimiento

La calidad del proyecto depende en gran medida de una comunicación eficaz entre las entidades participantes. Por este motivo, el proyecto establece un procedimiento de coordinación basado en reuniones periódicas, intercambio estructurado de información y registro de todas las decisiones relevantes.

Las reuniones técnicas permitirán realizar el seguimiento del estado de los paquetes de trabajo, resolver incidencias de integración y coordinar las actividades entre las diferentes entidades. Paralelamente, el Comité de Gestión revisará periódicamente el cumplimiento del cronograma, la situación presupuestaria y la evolución global del proyecto.

Tras cada reunión se elaborará un acta donde quedarán registrados los acuerdos alcanzados, los responsables y los plazos previstos para su ejecución. Estas actas formarán parte de la documentación oficial del proyecto y facilitarán el seguimiento de las decisiones adoptadas.

El plan de comunicaciones se complementará con el uso de herramientas colaborativas que permitan compartir documentación, controlar versiones y centralizar toda la información del proyecto en un único entorno de trabajo, reduciendo el riesgo de inconsistencias y mejorando la coordinación entre los miembros del consorcio.

Tabla 4-22. *Plan de comunicaciones*

Actividad	Frecuencia	Participantes	Responsable
Reunión técnica de seguimiento	Semanal	Equipos de cada WP	Responsable del WP
Reunión de coordinación	Mensual	Todo el consorcio	NEXORA
Revisión de riesgos y calidad	Mensual	Comité de Dirección	NEXORA
Revisión de hitos	Al finalizar cada hito	Comité de Dirección	NEXORA
Elaboración de actas e informes	Tras cada reunión	Coordinación	NEXORA

Fuente: Elaboración propia.

4.6. PLAN DE DIVULGACIÓN Y EXPLOTACIÓN

El Plan de Divulgación y Explotación de OPTIR tiene como finalidad maximizar el impacto científico, empresarial y social de los resultados obtenidos durante el proyecto. Para ello se definen de forma coordinada las actuaciones destinadas, por un lado, a difundir el conocimiento generado entre los diferentes grupos de interés y, por otro, a facilitar la utilización efectiva de los resultados una vez finalizado el proyecto.

La estrategia distingue claramente dos procesos complementarios. La divulgación comprende todas aquellas acciones orientadas a comunicar el desarrollo y los resultados del proyecto a la sociedad en general. Por su parte, la explotación se centra en favorecer la transferencia de los resultados hacia aplicaciones reales, promoviendo su utilización por parte de los socios del consorcio y de otras organizaciones interesadas. Ambos procesos se desarrollarán de forma coordinada para garantizar la máxima repercusión del proyecto y asegurar la sostenibilidad de los resultados obtenidos.

4.6.1. Estrategia de divulgación

La divulgación del proyecto comenzará desde las primeras fases de ejecución y se intensificará conforme se obtengan resultados técnicos relevantes. Su objetivo principal será incrementar la visibilidad del proyecto.

Las acciones de divulgación estarán dirigidas al público objetivo del proyecto OPTIR, que está formado por los siguientes grupos de interés:

- **Organismos gestores de infraestructuras aeroportuarias**, principales destinatarios de la solución desarrollada y potenciales usuarios de la plataforma.
- **Empresas del sector aeronáutico y tecnológico**, interesadas en la aplicación de herramientas de inteligencia artificial y optimización de operaciones aeroportuarias.
- **Centros tecnológicos y organismos de investigación**, para fomentar la colaboración científica y la transferencia de conocimiento.
- **Universidades y comunidad investigadora**, mediante la difusión de los resultados científicos obtenidos durante el proyecto.

- **Administraciones públicas y organismos reguladores**, con interés en la innovación, la digitalización y la mejora de la eficiencia del transporte aéreo.
- **Sociedad en general**, promoviendo el conocimiento sobre las aplicaciones de la inteligencia artificial en la gestión aeroportuaria y el impacto positivo de la investigación financiada con fondos públicos.

Para cada uno de estos colectivos se emplearán canales de comunicación adaptados a sus necesidades y nivel de especialización.

Las actividades de divulgación previstas, recogidas en la Tabla 4-23, se desarrollarán de forma coordinada durante las distintas fases del proyecto y se adaptarán al público objetivo y al grado de madurez de los resultados. Todas ellas incorporarán la identidad visual de OPTIR y reconocerán la financiación recibida conforme a los requisitos establecidos en la convocatoria correspondiente.

Con el fin de evaluar la eficacia de las acciones de divulgación se realizará un seguimiento periódico mediante indicadores de impacto que permitan medir el alcance de las actividades desarrolladas y, en caso necesario, adaptar la estrategia de comunicación durante la ejecución del proyecto.

Tabla 4-23. *Acciones previstas de divulgación*

Acción	Público objetivo	Momento de ejecución	Indicador
Página web del proyecto	Público general y sector aeronáutico	Durante el proyecto	Nº de visitas
Publicaciones científicas	Comunidad investigadora	A partir de resultados relevantes	Nº de publicaciones
Participación en congresos	Investigadores y empresas	Durante el proyecto	Nº de ponencias
Jornadas demostrativas	Empresas y administraciones	Fase piloto	Nº de asistentes
Difusión en redes profesionales	Sector industrial	Durante el proyecto	Alcance e interacciones

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2. Estrategia de explotación

La explotación de OPTIR comenzará cuando los resultados alcancen un nivel suficiente de madurez tecnológica y continuará después de la finalización del proyecto.

En el caso de OPTIR, la explotación se orientará principalmente hacia la implantación progresiva de la plataforma en entornos aeroportuarios, permitiendo optimizar la asignación de recursos operativos mediante técnicas de inteligencia artificial y análisis predictivo. Los socios del consorcio analizarán conjuntamente las oportunidades de transferencia tecnológica, la posibilidad de desarrollar nuevos servicios asociados a la plataforma y la participación en futuras convocatorias nacionales y europeas que permitan evolucionar la solución desarrollada.

Asimismo, se prestará especial atención a la protección del conocimiento generado durante el proyecto mediante la identificación de los resultados susceptibles de protección intelectual o industrial, el establecimiento de acuerdos de explotación entre los socios y la adecuada gestión de la propiedad intelectual conforme al acuerdo de consorcio.

Tabla 4-24. *Principales resultados explotables del proyecto*

Resultado	Potencial de explotación	Entidad responsable
Plataforma OPTIR	Implantación en aeropuertos	NEXORA
Algoritmos de optimización	Integración en nuevos servicios digitales	NEXORA
Modelos predictivos	Adaptación a otros entornos logísticos	Universidad colaboradora
Metodología de planificación	Transferencia a futuros proyectos de I+D+i	Consortio

Fuente: Elaboración propia.

4.7.EVALUACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La evaluación de OPTIR tiene como finalidad comprobar que la plataforma desarrollada cumple los requisitos funcionales y técnicos definidos, puede integrarse en el entorno aeroportuario previsto y aporta utilidad para la toma de decisiones operativas.

El proceso de evaluación considera tanto el funcionamiento técnico de la plataforma como la calidad de las recomendaciones generadas, de este modo, la validación no se limita a verificar que el sistema funciona, sino que también analiza si sus resultados son útiles y aplicables en un contexto operativo real.

4.7.1. Pruebas y validación del prototipo

La validación del prototipo se desarrollará en tres niveles complementarios.

En primer lugar, durante el desarrollo de la plataforma se realizarán pruebas unitarias y pruebas internas sobre los módulos principales. Estas pruebas permitirán comprobar el correcto funcionamiento de las funcionalidades prioritarias, la cobertura de los componentes críticos y la capacidad del motor de optimización para generar soluciones válidas en escenarios de referencia.

En segundo lugar, se llevarán a cabo pruebas de integración para verificar la conexión de la plataforma con las fuentes de datos, sistemas externos e infraestructura definida para el piloto. En esta fase se comprobará la disponibilidad del entorno de pruebas, la resolución de incidencias críticas, el control de accesos y la trazabilidad de las operaciones realizadas sobre los datos.

Finalmente, el prototipo se validará mediante un piloto en el entorno aeroportuario. Durante esta fase se ejecutarán los casos de uso priorizados y se analizará la capacidad de OPTIR para generar recomendaciones operativas útiles. La evaluación contará con la participación de personal de Aena y otros usuarios operativos implicados, que valorarán la utilidad, comprensibilidad y viabilidad de las propuestas generadas por la plataforma.

La superación de las pruebas internas e integración será un requisito previo para iniciar el piloto. Asimismo, cualquier incidencia crítica identificada durante la validación deberá ser analizada y resuelta, o bien quedar documentada con una medida de contingencia antes del cierre del proyecto.

4.7.2. Métricas de validación

Las métricas de validación permiten evaluar de forma objetiva el grado de cumplimiento de los resultados esperados. Se combinan indicadores cuantitativos, orientados al funcionamiento técnico y al rendimiento de la plataforma, con indicadores cualitativos obtenidos a partir de la valoración de los usuarios y expertos participantes.

Las métricas asociadas al WP3 evalúan el desarrollo y rendimiento de la plataforma, incluyendo la implementación de funcionalidades prioritarias, la cobertura de pruebas automatizadas, la generación de soluciones válidas y el tiempo de respuesta del motor de optimización. Las métricas del WP4 se centran en la correcta integración tecnológica, la disponibilidad del entorno de pruebas, la resolución de incidencias y el cumplimiento de los requisitos de seguridad. Finalmente, las métricas del WP5 permiten evaluar el resultado del piloto a partir de la ejecución de casos de uso, la utilidad de las recomendaciones, la resolución de incidencias y la satisfacción de los usuarios.

Los indicadores de los paquetes WP1, WP2 y WP6 se emplearán como apoyo al seguimiento de la planificación, la calidad de los requisitos y la explotación de los resultados, pero no formarán parte de la evaluación principal del prototipo.

Las siguientes Tablas recogen los indicadores utilizados para validar el desarrollo, la integración y el piloto, respectivamente. Cada indicador incluye un valor mínimo esperado que permite determinar si el resultado obtenido es aceptable o si requiere la aplicación de medidas correctivas.

Tabla 4-25. Indicadores de validación del WP1

Tipo	Tarea	ID	Descripción de la métrica	VME
Ct	T1.1	I1.1	Porcentaje de reuniones de seguimiento celebradas respecto a las planificadas.	≥ 90 %
Ct	T1.1	I1.2	Porcentaje de actas distribuidas en un plazo máximo de cinco días laborables.	≥ 95 %
Ct	T1.2	I1.3	Porcentaje de hitos revisados dentro de la fecha prevista.	≥ 90 %
Ct	T1.3	I1.4	Porcentaje de riesgos altos o críticos revisados según la periodicidad establecida.	100 %
Cl	T1.4	I1.5	Valoración del consorcio sobre la coordinación y comunicación interna.	≥ 4/5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-26. *Indicadores de validación del WP2*

Tipo	Tarea	ID	Descripción de la métrica	VME
Ct	T2.1	I2.1	Porcentaje de requisitos funcionales y no funcionales validados formalmente por Aena y OPTIR.	100 %
Ct	T2.1	I2.2	Número de sesiones o entrevistas con perfiles operativos relevantes.	≥ 10
Ct	T2.2	I2.3	Porcentaje de fuentes de datos identificadas con propietario, frecuencia, formato y restricciones documentadas.	100 %
Ct	T2.2	I2.4	Porcentaje de campos críticos de datos evaluados en calidad, completitud y consistencia.	≥ 95 %
Cl	T2.3	I2.5	Valoración de los usuarios sobre la adecuación del diseño funcional a sus necesidades.	≥ 4/5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-27. *Indicadores de validación del WP3*

Tipo	Tarea	ID	Descripción de la métrica	VME
Ct	T3.1	I3.1	Porcentaje de funcionalidades prioritarias implementadas respecto a las planificadas para la iteración.	≥ 90 %
Ct	T3.2	I3.2	Cobertura de pruebas automatizadas sobre los componentes críticos desarrollados.	≥ 80 %
Ct	T3.3	I3.3	Porcentaje de escenarios de prueba en los que el algoritmo genera una solución válida dentro del tiempo objetivo.	≥ 95 %
Ct	T3.3	I3.4	Tiempo medio de generación de una propuesta de optimización en escenario de referencia.	≤ 5 min
Cl	T3.4	I3.5	Evaluación experta de la interpretabilidad y utilidad de los resultados generados.	≥ 4/5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-28. Indicadores de validación del WP4

Tipo	Tarea	ID	Descripción de la métrica	VME
Ct	T4.1	I4.1	Porcentaje de interfaces críticas integradas y verificadas correctamente.	100 %
Ct	T4.1	I4.2	Disponibilidad del entorno de pruebas durante el periodo de integración.	≥ 95 %
Ct	T4.2	I4.3	Porcentaje de incidencias críticas de integración resueltas antes del inicio del piloto.	100 %
Ct	T4.3	I4.4	Número de vulnerabilidades críticas abiertas antes del despliegue piloto.	0
Ct	T4.3	I4.5	Porcentaje de accesos a sistemas y datos críticos correctamente registrados y auditables.	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-29. Indicadores de validación del WP5

Tipo	Tarea	ID	Descripción de la métrica	VME
Ct	T5.1	I5.1	Porcentaje de casos de uso prioritarios ejecutados satisfactoriamente durante el piloto.	≥ 90 %
Ct	T5.2	I5.2	Porcentaje de recomendaciones del sistema aceptadas o consideradas útiles por los usuarios participantes.	≥ 80 %
Ct	T5.2	I5.3	Porcentaje de incidencias críticas detectadas durante el piloto y resueltas antes del cierre.	100 %
Cl	T5.3	I5.4	Satisfacción global de los usuarios participantes en el piloto.	≥ 4/5
Cl	T5.3	I5.5	Valoración de Aena sobre la viabilidad de continuar la implantación tras el piloto.	≥ 4/5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-30. Indicadores de validación del WP6

Tipo	Tarea	ID	Descripción de la métrica	VME
Ct	T6.1	I6.1	Porcentaje de acciones de difusión ejecutadas respecto a las planificadas.	≥ 90 %
Ct	T6.2	I6.2	Plan de explotación y sostenibilidad elaborado, revisado y validado por el consorcio.	100 %
Ct	T6.2	I6.3	Número de oportunidades de transferencia, escalado o réplica identificadas.	≥ 3

Tipo	Tarea	ID	Descripción de la métrica	VME
CI	T6.3	I6.4	Valoración del consorcio sobre la claridad y aplicabilidad del plan de explotación.	≥ 4/5

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. PRINCIPALES CONCLUSIONES

El trabajo demuestra que la planificación de OPTIR es viable desde el punto de vista organizativo, técnico y económico. La principal aportación de la propuesta es integrar en una arquitectura común la representación del entorno, la asignación de recursos, el cálculo de rutas y el reajuste ante incidencias.

A partir del análisis realizado, se ha identificado la necesidad de contar con herramientas más flexibles que permitan coordinar recursos, rutas y prioridades de forma conjunta. En respuesta a esta necesidad, se ha definido una arquitectura modular basada en la representación del entorno mediante nodos, conexiones, recursos y restricciones operativas. Esta estructura permite plantear funcionalidades como la asignación de recursos, el cálculo de rutas, la priorización de tareas y el reajuste ante incidencias.

El proyecto se ha concretado en un entorno aeroportuario como caso de validación inicial. Este escenario permite evaluar la propuesta en un contexto con múltiples recursos, actores y necesidades de coordinación. No obstante, la arquitectura definida mantiene un enfoque transversal que facilitaría su adaptación futura a otros sectores, como la logística, los hospitales o las instalaciones industriales.

La planificación desarrollada incluye la definición del consorcio, los perfiles profesionales necesarios, la distribución de responsabilidades, los paquetes de trabajo, las tareas, los entregables, los hitos, los esfuerzos estimados y el presupuesto global. También se han definido criterios de calidad, riesgos principales y una estrategia de validación basada en pruebas internas, integración tecnológica y piloto operativo.

En conjunto, se considera que se han alcanzado los objetivos planteados desde la perspectiva de diseño y planificación del proyecto. OPTIR presenta una propuesta coherente y viable para desarrollar una primera versión funcional de la plataforma. Sin embargo, la validación definitiva de su utilidad y rendimiento requerirá la implementación del prototipo y la ejecución de las pruebas previstas en un entorno real o controlado.

5.2. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

Como continuación del proyecto, será necesario desarrollar el prototipo funcional y validar la arquitectura propuesta mediante escenarios simulados y pruebas de integración con datos y sistemas operativos.

Posteriormente, se deberá ejecutar el piloto aeroportuario para comprobar el rendimiento de los algoritmos, la utilidad de las recomendaciones y la aceptación de los usuarios. Esta fase permitirá comparar los resultados obtenidos con la operativa habitual e identificar mejoras antes de una posible implantación a mayor escala.

Finalmente, podrían incorporarse técnicas avanzadas de optimización, predicción o aprendizaje automático, así como ampliar la solución a otros casos de uso y sectores. La arquitectura modular definida permitiría adaptar la plataforma a distintos entornos sin modificar su lógica principal.

Referencias bibliográficas

- Allauca, J. E. (2023). APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE GRAFOS EN LA OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TRANSPORTE. *CIENCIA INTELIGENTE*, 1(1), 1-14.
- Almogry, A. S. S., Al-Rashidi, G. M. M., Shayban, S., Alzahrani, A., & Alzahrani, A. S. A. (s. f.). Healthcare Management: Strategies for Optimizing Efficiency and Patient Outcomes. *Healthcare Management*.
- Castillo Anzules, M., & Guaña Moya, E. J. (2024). Kanban: Una metodología ágil para la gestión eficiente del flujo de trabajo en el desarrollo de software, una revisión sistemática. *Revista Ingenio global*, 3(1), 17-28. <https://doi.org/10.62943/rig.v3n1.2024.68>
- Gende, M. (s. f.). *Sistemas de Navegación Global por Satélite*.
- Información—Google Maps. (s. f.). Recuperado 27 de mayo de 2026, de <https://www.google.com/intl/es/maps/about/mymaps/>
- Información—Waze. (s. f.). Waze. Recuperado 27 de mayo de 2026, de <https://www.waze.com/es/live-map/>
- ISO 31000:2018(es), *Gestión del riesgo—Directrices*. (s. f.). Recuperado 24 de junio de 2026, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>
- Madden, C. (2020, febrero 4). Barcelona-El Prat releases new retail tenders for Terminal 1. *DFNI*. <https://www.dfnionline.com/latest-news/barcelona-el-prat-releases-new-retail-tenders-terminal-1-04-02-2020/>
- Ortiz Luzuriaga, D. R., & Briones Morales, V. E. (2025). Inteligencia Artificial en la gestión de los servicios de salud: Estado actual y perspectivas futuras. *ASCE*, 4(2). <https://doi.org/10.70577/ASCE/483.502/2025>

- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.08.015>
- Problema del camino más corto. (2024). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Problema_del_camino_m%C3%A1s_corto&oldid=161809782
- Richardson, R. (1980). An Optimization Approach to Routing Aircraft. *Transportation Science*.
<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.10.1.52>
- Richmond, B. (2013). *An introduction to systems thinking: STELLA software* (Nachdr.). ISEE Systems.
- SAP Extended Warehouse Management | WMS*. (s. f.). SAP. Recuperado 27 de mayo de 2026, de <https://www.sap.com/products/scm/extended-warehouse-management.html>
- Schrijver, A. (2012). On the history of the shortest path problem. En M. Grötschel (Ed.), *Documenta Mathematica Series* (1.^a ed., Vol. 6, pp. 155-167). EMS Press.
<https://doi.org/10.4171/dms/6/19>
- Teletracking*. (s. f.). Teletracking. Recuperado 27 de mayo de 2026, de <https://www.teletracking.com/>
- Vila, E. (2025, diciembre 17). Decisiones Colaborativa en Aeropuertos (A-CDM). *Airport Gurus*.
<https://www.airportgurus.com/es/que-es-la-toma-de-decisiones-colaborativa-en-aeropuertos-a-cdm/>
- What Does it Take to Optimize a Complex System?* (2021, abril 2). BlockScience Blog.
<https://blog.block.science/what-does-it-take-to-optimize-a-complex-system/>

