



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Diseño y Gestión de Proyectos
Tecnológicos

Diseño y gestión de apoyo a la eficiencia
energética en edificios públicos mediante
inteligencia artificial
(SMARTERGY-AI)

Trabajo fin de estudio presentado por:	Ander Rojas Fernández
Tipo de trabajo:	Tipo 1. Propuesta de financiación
Director/a:	Ciro Martínez
Fecha:	27/05/2026

Resumen

El presente Trabajo Fin de Estudio tiene como objetivo el diseño y la gestión de un proyecto tecnológico orientado a mejorar la eficiencia energética en edificios públicos mediante el uso de tecnologías de Internet of Things (IoT) e inteligencia artificial. La metodología empleada se basa en el análisis del contexto energético, el estudio del estado del arte y la aplicación de metodologías de gestión de proyectos para la elaboración de una propuesta alineada con el programa Horizonte Europa. Como resultado, se define un sistema capaz de monitorizar el consumo energético, analizar patrones de uso y generar predicciones y recomendaciones para optimizar su gestión. Se concluye que la integración de estas tecnologías puede contribuir significativamente a la reducción del consumo energético, los costes operativos y la huella de carbono, mejorando la sostenibilidad (Energy Performance of Buildings Directive) en el sector público.

Palabras clave: Eficiencia energética, Inteligencia Artificial (IA), Internet de las cosas (IoT), Edificios públicos y Horizonte Europa.

Abstract

This master's Thesis aims to design and manage a technological project focused on improving energy efficiency in public buildings through the integration of Internet of Things (IoT) technologies and artificial intelligence. The methodology is based on the analysis of the current energy context, the review of the state of the art, and the application of project management methodologies to develop a proposal aligned with the Horizon Europe program. As a result, a system capable of monitoring energy consumption, analyzing usage patterns, and generating predictions and recommendations to optimize energy management is proposed. It is concluded that the integration of these technologies can significantly reduce energy consumption, operational costs, and carbon footprint, contributing to sustainability in the public sector.

Keywords: Energy efficiency, Artificial Intelligence (AI), Internet of Thing (IoT), Public Buildings and Horizon Europe.

Índice de contenidos

Resumen	II
Abstract.....	III
1. Introducción	1
1.1. Motivación.....	2
1.2. Planteamiento del trabajo.....	3
1.3. Objetivos del Trabajo Fin de Estudios	5
2. Contexto y estado del arte.....	6
2.1. Análisis del contexto.....	6
2.1.1. Consumo energético de edificios en la unión europea.....	6
2.1.2. Digitalización y tecnologías emergentes en la gestión energética	7
2.1.3. Necesidades y retos actuales	7
2.2. Estado del arte.....	8
2.2.1. Soluciones tecnológicas basadas en IoT.....	8
2.2.2. Aplicación de inteligencia artificial en eficiencia energética	9
2.2.3. Proyectos europeos y tendencias actuales	11
2.3. Conclusión	12
3. Resumen de la propuesta	14
3.1. Descripción de la convocatoria	14
3.2. Resumen del proyecto.....	14
3.3. Descripción del consorcio.....	16
4. Propuesta según el formato de la convocatoria	18
4.1. Excelencia científica y técnica	18
4.1.1. Resumen ejecutivo	18
4.1.2. Objetivos de SMARTEGY-AI	19

4.1.3.	Concepto y visión del proyecto	20
4.1.4.	Innovación científica y tecnológica	21
4.1.5.	Metodología científico-técnica.....	23
4.2.	Impacto e indicadores (KPIs)	25
4.2.1.	Impacto esperado.....	25
4.2.2.	KPIs (Key Performance Indicators)	27
4.3.	Implementación y gestión del proyecto.....	33
4.3.1.	Presupuesto.....	33
4.3.2.	Descripción de perfiles	39
4.3.3.	Paquetes de trabajo, tarea, entregables e hitos	41
4.3.4.	Cronograma	49
4.3.5.	Riesgos y plan de mitigación	50
5.	Conclusiones y trabajo futuro	58
5.1.	Principales conclusiones.....	58
5.2.	Líneas de trabajo futuro	60
6.	Referencias Bibliográficas	62

Índice de figuras

Ilustración 1: Eficiencia energética en los edificios	6
Ilustración 2: Edificios inteligentes mediante aplicación IoT	15
Ilustración 3:Pacto Verde Europeo	25
Ilustración 4: Gráfica gastos	35
Ilustración 5: Distribución de costes	36
Ilustración 6: Distribución costes por socio.....	38
Ilustración 7: Cronograma completo.....	49

Índice de tablas

Tabla 1 : TRL según la fase del proyecto	27
Tabla 2: Indicadores del rendimiento del proyecto	31
Tabla 3: Modelo de evaluación del desempeño de KPIs	32
Tabla 4: Descripción breve de perfiles del consorcio	39
Tabla 5: Probabilidad	53
Tabla 6: Impacto	54
Tabla 7: Importancia.....	54
Tabla 8: Gravedad.....	55
Tabla 9: Aplicación herramienta NPR.....	56
Tabla 10: Clasificación Valor NPR	57

Objetivo del TFE desde el punto de vista de la adquisición de conocimientos

Desde el punto de vista de la adquisición de conocimientos, el presente Trabajo Fin de Estudio permite integrar y aplicar de forma práctica los conceptos adquiridos a lo largo del máster en diseño y gestión de proyectos tecnológicos. En concreto, el desarrollo del trabajo implica la comprensión y aplicación de metodologías de gestión de proyectos, el análisis de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el Internet of Things (IoT), así como el estudio de los mecanismos de financiación europeos, en particular el programa Horizonte Europa.

El carácter multidisciplinar del proyecto permite abordar de forma conjunta aspectos técnicos, organizativos y estratégicos, combinando el análisis teórico con la aplicación práctica en el diseño de una propuesta de proyecto tecnológico. Por todo esto anteriormente mencionado, podemos decir que el trabajo no solo contribuye a la consolidación de conocimientos académicos, sino que también proporciona competencias aplicables en el ámbito profesional, especialmente en la elaboración y gestión de propuestas de financiación para proyectos de innovación tecnológica.

1. Introducción

En el contexto actual del siglo XXI de transición energética y transformación digital la mejora de eficiencia energética se ha consolidado como una de las principales prioridades estratégicas de la Union Europea, y en particular, los edificios públicos representan un ámbito clave de actuación, debido a su elevado consumo energético y a la necesidad de alinearse con los objetivos de sostenibilidad (Energy Performance of Buildings Directive), reducción de emisiones y eficiencia establecidos a nivel europeo. Sin embargo, muchos de estos edificios presentan sistemas de gestión energética ineficientes, caracterizados por un enfoque reactivo y una escasa explotación de los datos disponibles, lo que dificulta la optimización del consumo energético y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

En este contexto, el presente Trabajo Fin de Estudio se enmarca dentro del Tipo 1: Propuesta de financiación, y tiene como finalidad el diseño y la planificación de un proyecto tecnológico alineado con el programa Horizonte Europa. La propuesta se desarrolla desde la perspectiva de la empresa tecnológica ficticia EnerSmart Solutions S.L., que actuaría como entidad coordinadora del proyecto, La solución planteada se basa en la integración de tecnologías emergentes, como el Internet of Things (IoT) y la inteligencia artificial (IA), con el objetivo de desarrollar un sistema capaz de monitorizar el consumo energético en tiempo real, analizar patrones de uso y generar predicciones y recomendaciones que faciliten la toma de decisiones.

El enfoque del trabajo no se centra en la implementación técnica de la solución, sino en la definición estructurada del proyecto desde el punto de vista de la gestión, incluyendo aspectos como la planificación, la definición del consorcio, la estimación de recursos, el análisis de riesgos y la evaluación del impacto esperado. De este modo, el trabajo simula una propuesta real susceptible de ser presentada a programas de financiación europeos, contribuyendo a la adquisición de competencias clave en el ámbito de la gestión de proyectos tecnológicos.

1.1.Motivación

La creciente preocupación por el cambio climático y por ende la insostenibilidad energética, ha situado a la eficiencia energética como una prioridad tanto a nivel europeo como global. En este contexto, los edificios representan unos de los principales focos de consumo (In focus: Energy efficiency in buildings), siendo los responsables de una gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero. Dentro de este ámbito, los edificios públicos adquieren una relevancia especial, no solo por su volumen y diversidad, sino también por el papel ejemplificador que deben desempeñar en la transición hacia modelos más sostenibles.

A pesar de los avances tecnológicos en los últimos años, muchos edificios públicos continúan operando con sistemas de gestión energética tradicionales, caracterizados por un enfoque reactivo y una escasa digitalización. En numerosos casos, el consumo energético no se ajusta a las necesidades reales de uso, generando ineficiencias derivadas de una falta de monitorización continua, de la ausencia de análisis avanzado de datos y de la limitada capacidad para anticipar patrones de consumo. Esta situación se traduce en un incremento de los costes operativos, un mayor impacto ambiental y dificultades para cumplir con los objetivos de sostenibilidad (Energy Performance of Buildings Directive) establecidos por la Unión Europea.

Paralelamente, el desarrollo de tecnologías emergentes como el Internet of Things (IoT) y la inteligencia artificial (IA) ha abierto nuevas posibilidades para la optimización de la gestión energética. Los sistemas basados en sensores permiten la recopilación de grandes volúmenes de datos en tiempo real, mientras que las técnicas de análisis avanzado y aprendizaje automático permiten extraer conocimiento útil a partir de dichos datos. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías en el ámbito de los edificios públicos sigue siendo limitada, debido a factores como la complejidad de integración, la falta de recursos especializados o la ausencia de soluciones adaptadas a las necesidades específicas del sector público.

En este sentido, existe una clara oportunidad de mejora en la aplicación de soluciones tecnológicas que permitan transformar los modelos actuales de gestión energética. La integración de sistemas IoT con herramientas de inteligencia artificial puede facilitar el paso de un enfoque reactivo a uno predictivo, en el que las decisiones se basen en el análisis de datos y en la anticipación de escenarios. No obstante, las soluciones existentes en el mercado presentan, en muchos casos, limitaciones relacionadas con su escalabilidad, su coste o su adaptación a entornos heterogéneos como los edificios públicos.

Por tanto, la motivación de este trabajo radica en la necesidad de diseñar proyectos tecnológicos que permitan aprovechar el potencial de estas tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia energética en edificios públicos. En particular, se identifica la necesidad de propuestas que no solo aborden el desarrollo tecnológico, sino que también consideren aspectos clave como la gestión del proyecto, la viabilidad económica, la integración en entornos reales y el alineamiento con las políticas y programas de financiación europeos.

1.2.Planteamiento del trabajo

Con el objetivo de dar respuesta a la problemática identificada en relación con la gestión energética ineficiente en edificios públicos, el presente trabajo plantea el diseño de un proyecto tecnológico basado en la integración de tecnologías de Internet of Things (IoT) e inteligencia artificial (IA) (Cornell University). La solución propuesta se orienta al desarrollo de un sistema capaz de monitorizar el consumo energético (EU Building Stock Observatory) en tiempo real, analizar patrones de uso mediante técnicas avanzadas de análisis de datos y generar predicciones y recomendaciones que permitan optimizar la gestión energética.

Este planteamiento responde a las limitaciones detectadas en las soluciones actuales, que en muchos casos se centran en la monitorización básica sin incorporar capacidades predictivas o de apoyo a la toma de decisiones. Asimismo, muchas de las

soluciones existentes presentan dificultades de integración en entornos heterogéneos como los edificios públicos, o no están adaptadas a las necesidades específicas del sector público.

El proyecto se plantea en el marco del programa Horizonte Europa, alineándose con el Clúster 5: Clima, Energía y Movilidad (Horizonte Europa Cluster 5: Clima, Energía y Movilidad), y más concretamente con convocatorias orientadas a la eficiencia energética en edificios y la digitalización de la gestión energética, como las relacionadas con el desarrollo de soluciones inteligentes para la optimización del consumo energético (EU Building Stock Observatory) en el entorno construido. Los objetivos de estas convocatorias se centran en mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones de carbono y promover la adopción de tecnologías digitales, aspectos que se encuentran plenamente alineados con la propuesta desarrollada en este trabajo.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto contempla el desarrollo de una arquitectura basada en sensores IoT (MDPI Articles) para la recogida de datos, una plataforma de gestión y almacenamiento de datos en la nube y modelos de inteligencia artificial para el análisis predictivo. En cuanto al consorcio, se propone una estructura multidisciplinar compuesta por una universidad o centro de investigación, la empresa tecnológica EnerSmart Solutions S.L., que actuaría como coordinadora del consorcio y una entidad pública que actúe como entorno de validación.

El proyecto tendría una duración estimada de entre 24 y 36 meses, estructurado en diferentes fases que abarcan desde el análisis de requisitos hasta la validación de la solución en entornos reales. Como resultado, se espera obtener un sistema tecnológico validado, así como conocimiento transferible que permita su replicación en otros edificios públicos, contribuyendo a la mejora de la eficiencia energética y a la sostenibilidad del sector público.

1.3.Objetivos del Trabajo Fin de Estudios

◆ Objetivo general

Redactar una propuesta de financiación alineada con el programa Horizonte Europa, con el fin de diseñar y planificar un proyecto tecnológico orientado a la mejora de la eficiencia energética en edificios públicos mediante la aplicación de tecnologías de Internet of Things (IoT) e inteligencia artificial.

◆ Objetivos específicos

1. Analizar mediante revisiones bibliográficas y documentales, el contexto energético y tecnológico de los edificios públicos, identificando la problemática o necesidad principal de la eficiencia energética y la digitalización de infraestructuras públicas.
2. Evaluar el estado actual de la tecnología IoT, IA y sistemas inteligentes aplicados a la eficiencia energéticas, mediante el análisis de fuentes científicas y técnicas, identificando limitaciones y oportunidades de mejora.
3. Definir una arquitectura tecnológica basada en sensores IoT, plataforma de gestión de datos y modelo de IA que permita alcanzar reducciones estimada de consumo energético entre el 15% y 25% en edificios públicos piloto.
4. Diseñar un consorcio multidisciplinar y una planificación estructurada en paquetes de trabajo (WP), cronograma, presupuesto, riesgos y recursos para la ejecución estimada de 36 meses, siguiendo los estándares de Horizonte Europa.

2. Contexto y estado del arte

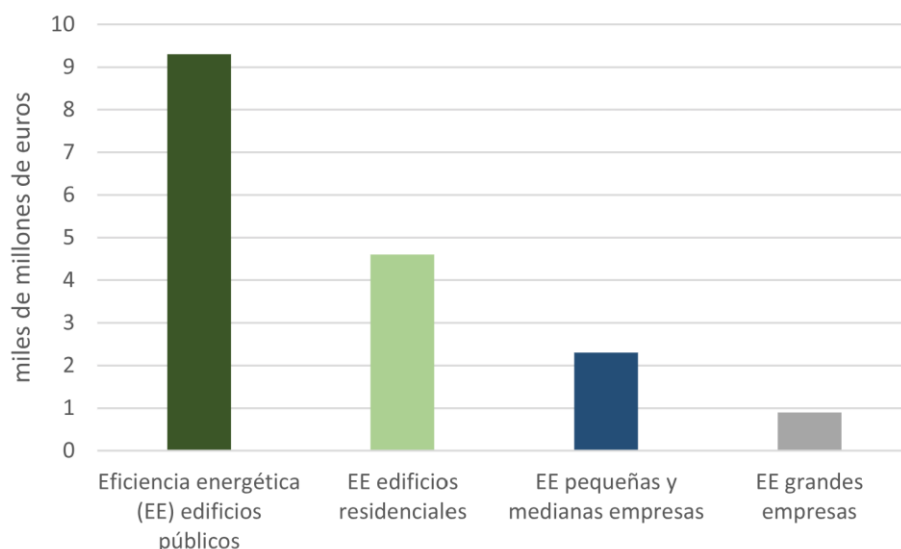
2.1. Análisis del contexto

2.1.1. Consumo energético de edificios en la unión europea

La bibliografía y diversos informes de la Unión Europea señalan que los edificios existentes representan aproximadamente el 40% del consumo energético total de la UE (Tribunal de cuentas Europeo), lo que los convierte en uno de los principales ámbitos de actuación en las políticas de eficiencia energética. Además, una gran parte del parque edificatorio europeo fue construido antes del año 2000, lo que implica que muchos de estos edificios presentan un bajo rendimiento energético debido a la antigüedad de sus infraestructuras y a la ausencia de tecnologías avanzadas de gestión energética.

Esta situación supone un reto de gran importancia para las administraciones públicas, sobre todo en el caso de los edificios públicos, los cuales la necesidad de optimizar el consumo energético se combina con restricciones presupuestarias y con la obligación de cumplir con los objetivos de sostenibilidad establecidos por la UE (Energy Performance of Buildings Directive).

Ilustración 1: Eficiencia energética en los edificios



Fuente: Tribunal de cuentas Europeo (2020).

2.1.2. Digitalización y tecnologías emergentes en la gestión energética

En los últimos años, la digitalización (Smart readiness indicator) ha adquirido un papel fundamental en la transformación del sector energético. En este contexto, las tecnologías de edificios inteligentes, basadas en el uso de sensores IoT (MDPI Articles) y sistemas de análisis de datos, han demostrado su capacidad para mejorar la eficiencia energética mediante la automatización y optimización de sistemas como la calefacción, ventilación, iluminación y otros servicios energéticos.

La UE destaca que la combinación de IoT e inteligencia artificial se sitúa en la novedad absoluta de la transformación digital, permitiendo monitorizar datos en tiempo real y adaptarse de forma dinámica a las condiciones de uso de los edificios. Estas tecnologías permiten pasar de modelos de gestión reactivos a modelos predictivos, en los que las decisiones se basan en el análisis de datos y en la anticipación de la demanda energética.

2.1.3. Necesidades y retos actuales

A pesar de los avances tecnológicos, persisten importantes retos en la aplicación de estas soluciones en entornos reales. Entre ellos, destacan la falta de interoperabilidad entre dispositivos y sistemas, la dificultad de integración en infraestructuras existentes y la necesidad de metodologías comunes para evaluar el impacto energético de las soluciones implementadas.

Además, existen barreras relacionadas con la aceptación social y la capacitación técnica, que dificultan la adopción de tecnologías avanzadas en el ámbito público. Estas limitaciones ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar proyectos tecnológicos que no solo aborden la dimensión técnica, sino que también consideren aspectos organizativos, sociales y económicos.

2.2. Estado del arte

2.2.1. Soluciones tecnológicas basadas en IoT

Durante los últimos años, el Internet of Things (IoT) (Orhan, 2022) se ha consolidado como una de las tecnologías más relevantes para la transformación digital del sector energético y la gestión inteligente de edificios. La capacidad de desplegar redes de sensores conectados, permite recopilar información en tiempo real sobre múltiples variables relacionadas con el comportamiento energético de los edificios.

Estas tecnologías han favorecido el desarrollo de los denominados Smart Building o edificios inteligentes (Neshat, 2025). Diversos estudios han demostrado que la utilización de sensores IoT permite mejorar significativamente la visibilidad sobre los patrones de consumo energético, facilitando la detección de anomalías y la identificación de oportunidades de ahorro energético (Chen, 2021).

Las arquitecturas IoT aplicadas a edificios suelen estar compuesta por tres niveles principales. En primer lugar, una capa física formada por sensores y dispositivos de adquisición de datos. En segundo lugar, una capa de comunicaciones encargada de transmitir la información mediante tecnologías inalámbricas como Wi-Fi, ZigBee, LoRaWAN o NB-IoT. Finalmente, una capa de procesamiento y almacenamiento, habitualmente implementada en plataformas cloud, donde los datos son analizados y utilizados para la toma de decisiones.

Sin embargo, a pesar de los avances alcanzados, muchas soluciones comerciales y proyectos de investigación continúan centrándose principalmente en la monitorización y visualización de datos. En numerosos casos, los sistemas se limitan a mostrar información histórica o indicadores de consumo sin incorporar capacidades avanzadas de predicción o automatización. Esta limitación reduce

considerablemente el potencial de las tecnologías IoT para generar mejoras significativas y sostenibles en la eficiencia energética.

Otro desafío importante identificado en la literatura es la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. La coexistencia de múltiples protocolos de comunicación y estándares dificulta la integración de soluciones heterogéneas, especialmente en edificios públicos donde suelen convivir infraestructuras instaladas en diferentes momentos y con distintos niveles de digitalización.

Por tanto, aunque las tecnologías IoT constituyen actualmente una base sólida para la digitalización energética de los edificios, sigue existiendo la necesidad de soluciones más integradas que combinen monitorización, análisis predictivo y capacidades avanzadas de apoyo a la toma de decisiones.

2.2.2. Aplicación de inteligencia artificial en eficiencia energética

La incorporación de técnicas de inteligencia artificial (CBRE, 2024) ha supuesto un importante avance en el ámbito de la eficiencia energética, permitiendo evolucionar desde modelos de gestión reactivos hacia enfoques predictivos y prescriptivos. Gracias a la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos procedentes de sensores IoT, los algoritmos de IA permiten identificar patrones complejos de comportamiento energético y generar recomendaciones automáticas orientadas a la optimización, palabra clave en el mundo tecnológico. (EU Building Stock Observatory).

Entre las técnicas más empleadas destacan los modelos de regresión, los algoritmos de Machine Learning (Solutions, 2018) supervisado, las redes neuronales artificiales y los modelos de Deep Learning. Estas herramientas han demostrado una elevada capacidad para predecir la demanda energética futura, optimizar sistemas

HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) (HVAC, 2024) y mejorar la gestión de recursos energéticos en edificios inteligentes (Neshat, 2025).

Diversos estudios han obtenido resultados especialmente prometedores utilizando redes neuronales para la predicción de consumos energéticos horarios y diarios. Estas soluciones permiten anticipar picos de demanda y ajustar automáticamente parámetros operativos para minimizar consumos innecesarios. Del mismo modo, algoritmos de detección de anomalías han demostrado ser eficaces para identificar comportamientos energéticos anómalos y posibles fallos en equipos e instalaciones.

La inteligencia artificial también está siendo aplicada al desarrollo de estrategias de control adaptativo capaces de modificar dinámicamente el funcionamiento de los sistemas energéticos en función de variables como la ocupación del edificio, las condiciones meteorológicas o los precios de la energía. Este enfoque resulta especialmente relevante en el contexto actual, caracterizado por una creciente volatilidad de los mercados energéticos y una mayor necesidad de optimización de recursos.

No obstante, la aplicación práctica de estas tecnologías todavía presenta diversas limitaciones como bien hemos mencionado anteriormente, las cuales destacan la necesidad de poder almacenar grandes volúmenes de datos, la complejidad de entrenamiento y mantenimiento de los modelos, así como las dificultades asociadas a la explicabilidad de los algoritmos. En muchos casos, los responsables de edificios muestran reparo a adoptar sistemas basados en inteligencia artificial debido a la dificultad para comprender cómo se generan determinadas recomendaciones o decisiones automáticas.

Por ello, la tendencia actual se orienta hacia el desarrollo de sistemas híbridos que integren capacidades predictivas avanzadas con interfaces intuitivas (intuitivas)

y mecanismos de explicabilidad que faciliten la confianza y aceptación por parte de los usuarios finales.

2.2.3. Proyectos europeos y tendencias actuales

La Unión Europea ha impulsado durante los últimos años numerosas iniciativas de investigación e innovación orientadas a acelerar la transición energética del entorno construido. Programas como Horizonte 2020 y Horizonte Europa han financiado proyectos centrados en la digitalización energética, la integración de IoT, la inteligencia artificial y los gemelos digitales aplicados a edificios inteligentes (IoT Aplicaciones para edificios inteligentes: Casos de uso y principales ventajas).

Entre las tendencias más relevantes destaca el uso de Digital Twins o gemelos digitales (Digital Twin Consortium). Estos modelos virtuales permiten representar digitalmente el comportamiento de un edificio en tiempo real, integrando información procedente de sensores físicos y simulaciones avanzadas. (MDPI articles Digital Twins)

Asimismo, proyectos europeos como SPHERE (SPHERE, 2020), PHOENIX o SMARTSPEND (SMARTSPEND, 2021) han demostrado el potencial de las plataformas inteligentes para mejorar la eficiencia energética mediante la combinación de datos en tiempo real, análisis predictivo y herramientas de apoyo a la toma de decisiones. Estas iniciativas han contribuido significativamente al desarrollo de metodologías comunes y marcos tecnológicos para la gestión energética inteligente.

Paralelamente, grandes empresas tecnológicas como Schneider Electric (Schneider Electric), Siemens (SIEMENS) o ABB (ABB) han desarrollado soluciones comerciales avanzadas basadas en Building Management Systems (BMS) (Alonso, 2025) inteligentes capaces de integrar monitorización energética, automatización y análisis avanzado. Sin embargo, estas plataformas suelen presentar costes elevados

de implantación y dificultades de adaptación a edificios públicos de tamaño medio o con infraestructuras heterogéneas.

A pesar de los importantes avances logrados, la literatura especializada continúa identificando retos significativos relacionados con la interoperabilidad, la escalabilidad, la ciberseguridad, la gobernanza de los datos y la replicabilidad de las soluciones desarrolladas. Además, muchas iniciativas siguen centrándose en pilotos específicos sin alcanzar una adopción generalizada a gran escala.

En este contexto, existe una oportunidad para desarrollar nuevas soluciones que integren de forma eficiente tecnologías IoT, inteligencia artificial y herramientas de gestión energética inteligente, proporcionando una mayor capacidad de adaptación a diferentes tipos de edificios públicos y facilitando su futura escalabilidad y explotación comercial.

2.3.Conclusión

El análisis del contexto y del estado del arte (Smart readiness indicator) pone de manifiesto la relevancia del problema de la eficiencia energética en edificios públicos, así como el potencial de las tecnologías emergentes para abordar esta problemática. Si bien existen numerosas soluciones basadas en IoT e inteligencia artificial, estas presentan limitaciones que dificultan su aplicación efectiva en entornos reales.

En este sentido, se identifica una oportunidad clara para el desarrollo de proyectos tecnológicos que integren estas tecnologías de manera estructurada, abordando tanto los aspectos técnicos como los organizativos y sociales.

Estas conclusiones justifican la propuesta desarrollada en el presente trabajo, orientada a diseñar un proyecto alineado con el programa Horizonte Europa que

contribuya a mejorar la eficiencia energética en edificios públicos, aportando valor añadido frente a las soluciones existentes.

3. Resumen de la propuesta

3.1.Descripción de la convocatoria

El presente proyecto propone el desarrollo de una solución tecnológica innovadora para la mejora de la eficiencia energética en edificios públicos, basada en la integración de tecnologías IoT e inteligencia artificial. La propuesta está liderada por la empresa ficticia EnerSmart Solutions S.L., especializada en soluciones de gestión energética inteligente, y se enmarca dentro del programa Horizonte Europa, concretamente en el ámbito del Clúster 5: Clima, Energía y Movilidad. (Horizonte Europa Cluster 5: Clima, Energía y Movilidad)

El objetivo del proyecto es desarrollar un sistema capaz de monitorizar el consumo energético en tiempo real, analizar patrones de uso y generar predicciones que permitan optimizar la gestión energética. La solución será validada en entornos reales mediante la colaboración con entidades públicas, permitiendo demostrar su impacto en términos de reducción de consumo energético y emisiones.

3.2. Resumen del proyecto

El presente proyecto propone el desarrollo de una solución tecnológica orientada a la mejora de la eficiencia energética en edificios públicos mediante el uso de tecnologías IoT e inteligencia artificial. La propuesta se enmarca en el programa Horizonte Europa y plantea el diseño de un sistema capaz de monitorizar, analizar y optimizar el consumo energético en tiempo real.

El proyecto será desarrollado por un consorcio ficticio liderado por la empresa tecnológica EnerSmart Solutions S.L., especializada en soluciones de eficiencia energética, en colaboración con un centro de investigación y una entidad pública. La solución se validará en entornos reales, permitiendo evaluar su impacto en términos de reducción de consumo energético (EU Building Stock Observatory), costes operativos y emisiones de carbono.

En relación con el nivel de madurez tecnológica (Technology Readiness Level, TRL) (Horizonte Europa TRL), el proyecto SMARTERGY-AI parte de un estado inicial aproximado de TRL 3, correspondiente a una fase de validación experimental del concepto. En este punto, las tecnologías base utilizadas en el proyecto, como sensores IoT, plataformas cloud y algoritmos de inteligencia artificial, ya han demostrado su viabilidad de forma individual en distintos entornos experimentales y proyectos de investigación previos. Sin embargo, su integración conjunta en una solución orientada específicamente a edificios públicos inteligentes todavía requiere actividades adicionales de desarrollo, adaptación y validación.

Ilustración 2: Edificios inteligentes mediante aplicación IoT



Fuente: (IoT Aplicaciones para edificios inteligentes: Casos de uso y principales ventajas)

En línea con los requisitos habituales de las convocatorias del programa Horizonte Europa dentro del Clúster 5: Clima, Energía y Movilidad, el proyecto tiene como objetivo alcanzar un nivel TRL 6-7 al finalizar su ejecución. Para ello, se prevé el desarrollo de un prototipo funcional integrado y su validación en entornos operativos reales mediante pilotos en edificios públicos, permitiendo demostrar tanto la viabilidad técnica de la solución como su capacidad para generar impacto energético, económico y medioambiental.

3.3. Descripción del consorcio

El proyecto se alinea con las prioridades estratégicas de Horizonte Europa, en particular con aquellas relacionadas con la transición energética, la digitalización y la sostenibilidad. En concreto, contribuye a los objetivos de mejora de la eficiencia energética en el entorno construido, reducción de emisiones de carbono y promoción del uso de tecnologías digitales avanzadas. Para llevar a cabo todo este tipo de cuestiones se ha elegido el siguiente consorcio el cual va de la mano con todo lo exigido por la propia convocatoria.

El consorcio propuesto para el desarrollo del proyecto presenta un carácter multidisciplinar e internacional, integrando entidades con capacidades complementarias en los ámbitos tecnológico, científico y operativo. Esta estructura responde a los requisitos habituales de los proyectos financiados por el programa Horizonte Europa, donde se valora la colaboración entre diferentes tipos de organizaciones para garantizar el éxito del proyecto y maximizar su impacto.

El consorcio está liderado por EnerSmart Solutions S.L. (España), empresa tecnológica especializada en el desarrollo de soluciones inteligentes para la gestión energética. Como entidad coordinadora, será responsable de la gestión global del proyecto, la supervisión de las actividades técnicas y la integración de los diferentes componentes del sistema. Su experiencia en el desarrollo de plataformas IoT y soluciones basadas en inteligencia artificial la posiciona como un socio clave para garantizar la viabilidad técnica del proyecto.

El consorcio incluye además un centro de investigación, TechLab Research Institute (Alemania), que aportará conocimiento científico y técnico en el ámbito de la inteligencia artificial y el análisis de datos. Su participación será fundamental para el desarrollo de los modelos predictivos y la validación de los algoritmos empleados en la solución propuesta (TechLab).

Asimismo, se incorpora una entidad pública, el Ayuntamiento de Donostia/San Sebastián (España), que actuará como entorno de validación del proyecto. Esta entidad facilitará el acceso a edificios públicos donde se implementará y evaluará la solución, permitiendo comprobar su eficacia en condiciones reales y analizar su impacto en términos de eficiencia energética. (Ayuntamiento de Donostia)

Por último, el consorcio se completa con la participación de una consultora especializada, GreenEnergy Consulting (Suiza), encargada de evaluar el impacto del proyecto, analizar su viabilidad económica y desarrollar estrategias de explotación y replicabilidad (GreenEnergyConsulting).

La combinación de estos perfiles permite abordar el proyecto desde una perspectiva integral, cubriendo todas las fases necesarias: desde el desarrollo tecnológico hasta su validación y explotación. Además, esta estructura garantiza la adecuada distribución de responsabilidades, una gestión eficiente de los recursos y una mayor probabilidad de éxito en la consecución de los objetivos planteados.

4. Propuesta según el formato de la convocatoria

En el presente capítulo se desarrolla la propuesta del proyecto SMARTERGY-AI siguiendo una estructura alineada con los criterios habituales de evaluación del programa Horizonte Europa, especialmente aquellos relacionados con las convocatorias del Clúster 5: Clima, Energía y Movilidad. La propuesta se orienta al diseño y planificación de una solución tecnológica innovadora basada en inteligencia artificial e Internet of Things (IoT) para la mejora de la eficiencia energética en edificios públicos.

El contenido de este capítulo incluye la definición de la excelencia científico-técnica del proyecto, el impacto esperado, así como la calidad y eficiencia de la implementación propuesta. Asimismo, se describen los aspectos relacionados con la estructura del consorcio, la planificación temporal, los recursos necesarios y los mecanismos de seguimiento y evaluación, siguiendo un enfoque coherente con las propuestas de financiación europeas reales.

La propuesta ha sido diseñada considerando tanto las prioridades estratégicas de la Unión Europea en materia de sostenibilidad y digitalización, como los principales retos identificados en el análisis del contexto y del estado del arte desarrollado en capítulos anteriores

4.1. Excelencia científica y técnica

4.1.1. Resumen ejecutivo

El presente Trabajo Fin de Máster propone el diseño y gestión de un proyecto tecnológico alineado con la convocatoria HORIZON-CL5-2026-02-D4-02 (Horizonte Europa CLuster 5) de Horizonte Europa (Cluster 5 “Clima, Energía y Movilidad”, WP2025), que busca soluciones para “Edificios más inteligentes” y su integración en el sistema energético. El proyecto se centra en el sector público, diseñando un sistema que integra tecnologías IoT e

inteligencia artificial para monitorizar en tiempo real el consumo energético de edificios, analizar patrones de uso y generar recomendaciones automatizadas. De este modo se persigue reducir la demanda energética y la huella de carbono, mejorando el confort de los usuarios. El texto prepara una estructura de proyecto ficticio: descripción técnica, consorcio multidisciplinar, plan de trabajo (WPs, cronograma, presupuesto), indicadores de éxito y evaluación de riesgos. Se destaca que el 40% de la energía consumida en la UE corresponde a edificios, y que la Estrategia Europea identifica las tecnologías IoT y de edificios inteligentes como clave en la transición energética. Por tanto, la propuesta es coherente con los objetivos europeos de eficiencia y digitalización, contribuyendo a las metas de reducción de consumo y emisiones.

4.1.2. Objetivos de SMARTERGY-AI

El proyecto SMARTERGY-AI tiene como objetivo general desarrollar una solución tecnológica innovadora basada en tecnologías IoT e inteligencia artificial capaz de optimizar la gestión energética de edificios públicos mediante la monitorización continua, el análisis predictivo y la generación automática de recomendaciones para la toma de decisiones.

Este objetivo general contribuye directamente a los objetivos de la convocatoria HORIZON-CL5-2026-02-D4-02 (Horizonte Europa Cluster 5: Clima, Energía y Movilidad), orientada al desarrollo de edificios más inteligentes, sostenibles y energéticamente eficientes.

Para alcanzar este propósito se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar una arquitectura interoperable basada en sensores IoT capaz de recopilar información energética y ambiental en tiempo real.

- Desarrollar modelos de inteligencia artificial que permitan predecir patrones de consumo energético con una precisión superior al 85%.
- Implementar una plataforma digital capaz de integrar, procesar y visualizar la información procedente de los edificios monitorizados.
- Validar la solución en edificios públicos reales, alcanzando una reducción estimada del consumo energético de entre el 15% y el 25% (GreenEnergyConsulting).
- Mejorar la capacidad de toma de decisiones de los gestores energéticos mediante recomendaciones automáticas basadas en datos.
- Alcanzar un nivel de madurez tecnológica final comprendido entre TRL 7 y TRL 8, alineado con los requisitos de la convocatoria (Horizonte Europa TRL).
- Facilitar la replicabilidad de la solución en diferentes tipologías de edificios públicos europeos.

4.1.3. Concepto y visión del proyecto

SMARTERGY-AI surge como respuesta a la necesidad creciente de mejorar la eficiencia energética de los edificios públicos europeos mediante la aplicación de tecnologías digitales avanzadas. El proyecto parte de la premisa de que la monitorización aislada ya no resulta suficiente para alcanzar los objetivos energéticos y climáticos establecidos por la Unión Europea.

La visión del proyecto consiste en evolucionar desde modelos tradicionales de gestión energética, basados principalmente en actuaciones correctivas, hacia un modelo inteligente, predictivo y automatizado. Para ello, SMARTERGY-AI combinará sensores IoT (IoT Aplicaciones para edificios inteligentes: Casos de uso y principales ventajas) distribuidos en los edificios, plataformas de gestión de datos en la nube y algoritmos de inteligencia

artificial capaces de anticipar comportamientos energéticos y recomendar acciones de optimización.

El sistema permitirá construir una representación digital dinámica del comportamiento energético de cada edificio, integrando información relativa al consumo, ocupación, condiciones ambientales y patrones de utilización. Gracias a esta capacidad analítica será posible identificar ineficiencias, prever incrementos de demanda y optimizar el funcionamiento de sistemas críticos como climatización, iluminación o ventilación.

La visión a largo plazo del proyecto es contribuir a la creación de edificios públicos inteligentes capaces de integrarse activamente en el sistema energético europeo, favoreciendo la reducción de emisiones, la optimización de recursos y el cumplimiento de los objetivos establecidos en el Pacto Verde Europeo. (GreenEnergyConsulting)

4.1.4. Innovación científica y tecnológica

La principal innovación de SMARTERGY-AI radica en la integración de diferentes tecnologías emergentes dentro de una única solución orientada específicamente a edificios públicos. Aunque actualmente existen herramientas de monitorización energética y plataformas de gestión de edificios, muchas de ellas presentan limitaciones relacionadas con la interoperabilidad, la escalabilidad o la incorporación de capacidades predictivas avanzadas. (Neshat, 2025)

Desde el punto de vista científico, el proyecto propone la utilización de modelos de inteligencia artificial capaces de aprender de los patrones históricos de consumo energético y generar predicciones en tiempo real. Estos modelos combinarán técnicas de Machine Learning (Solutions, 2018) y

análisis predictivo para anticipar escenarios de consumo y optimizar la utilización de recursos energéticos.

A nivel tecnológico, la innovación se basa en la integración de sensores IoT (IoT Aplicaciones para edificios inteligentes: Casos de uso y principales ventajas), plataformas cloud, algoritmos de inteligencia artificial y conceptos asociados a los gemelos digitales (MDPI articles Digital Twins). Esta combinación permitirá disponer de una visión integral del comportamiento energético del edificio y facilitará la toma de decisiones basada en datos.

Otro elemento innovador será el desarrollo de mecanismos de interoperabilidad que permitan integrar dispositivos y sistemas procedentes de diferentes fabricantes, reduciendo una de las principales barreras identificadas en el estado del arte. Asimismo, el proyecto incorporará funcionalidades de explicabilidad de los algoritmos, facilitando que los gestores energéticos comprendan las recomendaciones generadas por el sistema.

La propuesta aspira a evolucionar desde un nivel inicial de madurez tecnológica estimado en TRL 3-4, correspondiente a la validación experimental de conceptos y tecnologías existentes, hasta un TRL 7-8 mediante la demostración y validación del sistema en entornos operativos reales. Este incremento de madurez tecnológica constituye uno de los principales elementos de valor añadido de la propuesta y se encuentra plenamente alineado con los objetivos de la convocatoria seleccionada. (Horizonte Europa TRL)

4.1.5. Metodología científico-técnica

La metodología propuesta para SMARTERGY-AI se basa en un enfoque iterativo e incremental, combinando actividades de investigación aplicada, desarrollo tecnológico y validación en entornos reales. Este enfoque permitirá reducir riesgos técnicos, mejorar progresivamente la solución y garantizar la obtención de resultados alineados con los objetivos del proyecto.

La primera fase estará orientada al análisis de requisitos y definición de la arquitectura tecnológica. Durante esta etapa se identificarán las necesidades funcionales de los edificios piloto, los requisitos de interoperabilidad y los indicadores energéticos que serán monitorizados.

Posteriormente se desarrollará la infraestructura IoT necesaria para la captura de datos, incluyendo sensores energéticos, ambientales y de ocupación. Paralelamente se diseñará la plataforma cloud encargada del almacenamiento y procesamiento de la información recopilada.

La tercera fase se centrará en el desarrollo de los modelos de inteligencia artificial. Se emplearán técnicas de Machine Learning supervisado y algoritmos predictivos para analizar patrones de consumo y generar recomendaciones orientadas a la optimización energética.

Una vez desarrollados los componentes tecnológicos, se procederá a la integración del sistema completo y a su validación progresiva en edificios públicos seleccionados por el Ayuntamiento de Donostia/San Sebastián (Ayuntamiento de Donostia). Esta validación permitirá evaluar el rendimiento de la solución en condiciones reales y medir indicadores como reducción de consumo energético, disminución de emisiones y satisfacción de los usuarios.

Finalmente, se realizarán actividades de evaluación, explotación y replicabilidad orientadas a facilitar la futura transferencia de resultados y su

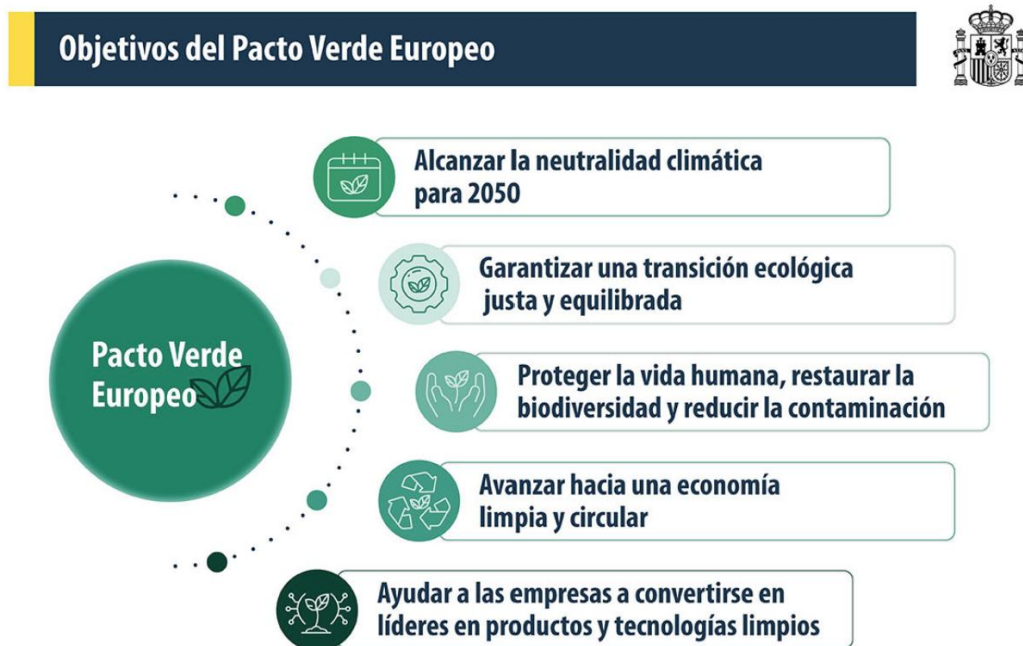
adopción por parte de otras administraciones públicas europeas. El progreso del proyecto será monitorizado mediante indicadores KPI específicos y revisiones periódicas de cumplimiento técnico y económico.

4.2. Impacto e indicadores (KPIs)

4.2.1. Impacto esperado

El proyecto contribuirá directamente a los objetivos del Pacto Verde Europeo (Pacto verde Europeo) y de la Renovation Wave (Renovation Wave) al reducir el consumo energético de edificios públicos y las emisiones asociadas. Según la convocatoria, se espera un impacto medible como la “reducción de la demanda energética” y un aumento de edificaciones con autoconsumo renovable; nuestro proyecto apunta a lograrlo optimizando el uso de energías renovables in situ y gestionando la demanda. Además, mejorará el Smart Readiness Indicator de los edificios (criterio de la UE) (Horizonte Europa Cluster 5: Clima, Energía y Movilidad) y fomentará la igualdad social: al incluir a usuarios vulnerables (p.ej. hospitales, colegios) en los pilotos, se busca aumentar la aceptación social y el bienestar, alineándose con el énfasis de la convocatoria en diversidad de grupos.

Ilustración 3: Pacto Verde Europeo



Fuente: La moncloa.

A nivel económico, se espera una disminución de costes operativos para las administraciones públicas y la posible creación de nuevos puestos en sectores tecnológicos (IA, IoT). En el plano medioambiental, cada edificio optimizado reduce emisiones, apoyando la neutralidad climática. El proyecto también impulsará la normalización y la adopción de soluciones digitales en el sector de la construcción, brindando conocimiento reutilizable para otros proyectos de ciudades inteligentes.

Finalmente, el impacto se medirá con los KPIs definidos: la consecución de los valores objetivo (p.ej. % reducción del consumo) y la replicabilidad demostrada (documentada en el plan de explotación) evidenciarán que los resultados son escalables a nivel europeo.

El enfoque metodológico planteado en el proyecto está orientado específicamente a incrementar progresivamente el nivel de madurez tecnológica de la solución propuesta. En este sentido, el proyecto evolucionará desde un estado inicial TRL 3 hasta alcanzar un TRL 6-7 mediante actividades de integración tecnológica, validación experimental y demostración piloto en entornos reales.

La progresión del nivel de madurez tecnológica (Horizonte Europa TRL) se desarrollará de forma gradual a través de diferentes fases del proyecto. Inicialmente, se abordará el diseño y desarrollo de la arquitectura tecnológica y de los modelos de inteligencia artificial, avanzando posteriormente hacia la integración funcional de todos los componentes del sistema. Finalmente, la solución será validada en edificios públicos reales, permitiendo demostrar su funcionamiento en condiciones operativas y reduciendo los riesgos asociados a su futura explotación y escalabilidad.

Este enfoque se encuentra alineado con los objetivos establecidos por las convocatorias de Horizonte Europa orientadas al desarrollo y validación de soluciones innovadoras para la transición energética y la digitalización del entorno construido.

Tabla 1 : TRL según la fase del proyecto

Fase del proyecto	Nivel TRL
Validación conceptual inicial	TRL 3
Desarrollo de componentes tecnológicos	TRL 4
Integración funcional del sistema	TRL 5
Validación piloto en edificios públicos	TRL 6
Demostración operativa en entorno real	TRL 7

Fuente: Elaboración propia.

Por último, como producto esperado una vez definidas todos los aspectos del enfoque en distinto áreas y sus fases dentro del proyecto, como resultado del proyecto que se espera obtener será lo siguiente:

- Una plataforma tecnológica de gestión energética basada en IoT e IA
- Modelos predictivos de consumo energético
- Un sistema validado en edificios públicos reales
- Informes de impacto energético y sostenibilidad
- Un modelo replicable para otras administraciones públicas

4.2.2. KPIs (Key Performance Indicators)

Con el fin de garantizar el seguimiento adecuado del proyecto y evaluar el grado de consecución de los objetivos planteados, se han definido

una serie de indicadores clave de rendimiento (Key Performance Indicators, KPIs). Estos indicadores permiten medir tanto el desempeño técnico de la solución desarrollada como su impacto en términos energéticos, económicos y sociales, así como la correcta ejecución del proyecto.

En primer lugar, desde el punto de vista técnico, se establecen indicadores orientados a evaluar la eficacia del sistema desarrollado. Entre ellos, destaca la reducción del consumo energético en los edificios piloto, que se sitúa como uno de los principales objetivos del proyecto, estimándose una disminución comprendida entre el 15% y el 25%. Asimismo, se considera la precisión de los modelos predictivos desarrollados, que deberá alcanzar valores superiores al 85%, garantizando así la fiabilidad de las recomendaciones generadas por el sistema.

Otro aspecto relevante es la capacidad del sistema para monitorizar múltiples variables en tiempo real, incluyendo parámetros como temperatura, ocupación o consumo energético, lo que permitirá disponer de una visión completa del comportamiento del edificio. A ello se suma el tiempo de respuesta del sistema, que deberá mantenerse en valores reducidos, inferiores a cinco segundos, asegurando una adecuada capacidad de reacción ante cambios en las condiciones de uso.

Desde la perspectiva del impacto, se han definido indicadores orientados a evaluar los beneficios derivados de la implementación de la solución. En este sentido, se espera una reducción de las emisiones de dióxido de carbono en torno al 20%, en línea con los objetivos de sostenibilidad establecidos por la Unión Europea. Asimismo, se prevé una disminución de los costes energéticos de al menos un 15%, lo que refuerza la viabilidad económica del proyecto.

Además, se tendrá en cuenta el grado de aceptación por parte de los usuarios, medido a través de indicadores de satisfacción que deberán superar el 80%, garantizando así que la solución no solo sea eficiente, sino también adecuada desde el punto de vista del usuario final.

En relación con la gestión del proyecto, se contemplan indicadores que permiten evaluar el cumplimiento de los hitos y la correcta ejecución de las actividades. Entre ellos, se establece como objetivo un cumplimiento superior al 90% de los hitos definidos, así como una desviación presupuestaria inferior al 10%. Estos indicadores resultan clave para asegurar una gestión eficiente y alineada con las buenas prácticas en proyectos financiados por programas europeos.

Finalmente, en lo relativo a la explotación de resultados, se incluyen indicadores que permiten medir el potencial de replicabilidad y transferencia del proyecto. En este sentido, se prevé que la solución pueda ser aplicada en al menos cinco edificios adicionales, así como generar interés por parte de diversas entidades públicas, lo que contribuiría a su adopción a mayor escala.

En conjunto, estos indicadores permiten establecer un marco de evaluación integral del proyecto, asegurando no solo el cumplimiento de los objetivos técnicos, sino también la generación de impacto real y medible, en línea con los criterios de evaluación del programa Horizonte Europa.

Con el objetivo de facilitar el seguimiento y la evaluación del grado de cumplimiento de los indicadores definidos previamente, se propone un sistema de valoración basado en niveles de desempeño. Este sistema permite comparar los resultados reales obtenidos durante la ejecución del proyecto con los valores mínimos esperados definidos inicialmente,

facilitando la identificación temprana de desviaciones y el análisis del alineamiento del proyecto con los objetivos establecidos.

Para ello, se han definido distintos criterios de evaluación asociados a cada indicador clave de rendimiento, así como un modelo de clasificación basado en tres niveles: verde, naranja y rojo.

Tabla 2: Indicadores del rendimiento del proyecto

CRITERIO	INDICADOR	MÉTRICA/VALOR MÍNIMO ESPERADO
Eficiencia energética	Reducción del consumo energético	Disminución entre el 15% y el 25%
Rendimiento técnico	Precisión de modelos predictivos	Precisión superior al 85%
Capacidad de monitorización	Variables monitorizadas en tiempo real	Temperatura, ocupación, consumo, iluminación
Rendimiento del sistema	Tiempo de respuesta del sistema	Inferior a 5 segundos
Impacto ambiental	Reducción de emisiones de CO ₂	Reducción aproximada del 20%
Impacto económico	Reducción de costes energéticos	Ahorro mínimo del 15%
Satisfacción de usuarios	Encuestas cliente final, valoración del 1-5	Superior al 4
Gestión del proyecto	Cumplimiento de hitos	Más del 90% de hitos completados
Gestión económica	Desviación presupuestaria	Inferior al 10%
Explotación de resultados	Replicabilidad de la solución	Aplicación potencial en al menos 5 edificios
Transferencia y adopción	Interés de entidades públicas	Participación/interés de al menos 3 entidades

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Modelo de evaluación del desempeño de KPIs

Nivel	Condición	Interpretación
Verde ●	El valor real obtenido supera el Valor Mínimo Esperado (VME) $\text{Valor real} \geq \text{VME}$	Alineamiento total con los objetivos del proyecto. El indicador alcanza o supera el rendimiento previsto.
Naranja ●	El valor real se sitúa entre el 90% y el 100% del valor mínimo esperado $0,9 \times \text{VME} \leq \text{Valor real} < \text{VME}$	Ligera desviación respecto a los objetivos establecidos, aunque el resultado sigue considerándose aceptable.
Rojo ●	El valor real obtenido es inferior al 90% del valor mínimo esperado $\text{Valor real} < 0,9 \times \text{VME}$	Desalineación significativa con los objetivos del proyecto, requiriéndose medidas correctivas o revisión del enfoque aplicado.

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de facilitar la evaluación del grado de cumplimiento de los indicadores definidos, se establece un sistema de valoración basado en tres niveles de desempeño: verde, naranja y rojo. Este enfoque permite identificar de forma visual y objetiva el nivel de alineación entre los resultados obtenidos y los objetivos inicialmente establecidos para el proyecto.

El nivel verde representa un cumplimiento satisfactorio o superior a lo esperado, indicando que el indicador alcanza los valores objetivo-definidos. Por su parte, el nivel naranja refleja una ligera desviación respecto a los valores previstos, aunque manteniéndose dentro de un margen aceptable de cumplimiento. Finalmente, el nivel rojo indica una desviación significativa,

evidenciando la necesidad de aplicar medidas correctivas o revisar determinados aspectos técnicos u organizativos del proyecto.

Este sistema de evaluación permite realizar un seguimiento continuo del rendimiento del proyecto y facilita la toma de decisiones durante su ejecución, en línea con las prácticas habituales en proyectos financiados por programas europeos de I+D+i.

4.3. Implementación y gestión del proyecto

4.3.1. Presupuesto

El presupuesto del proyecto se ha estimado considerando los recursos necesarios para el desarrollo tecnológico, la ejecución de las actividades previstas y la correcta gestión del consorcio durante toda la duración del proyecto. Se plantea un presupuesto coherente con proyectos de innovación financiados en el marco de Horizonte Europa, con una duración estimada de 36 meses.

El coste total del proyecto asciende a 2.760.000 €, distribuido entre las diferentes categorías de gasto en función de las necesidades de cada fase del proyecto.

4.3.1.1. Estructura del presupuesto

La mayor parte del presupuesto se destina a recursos humanos, dado que se trata de un proyecto intensivo en conocimiento y desarrollo tecnológico. En concreto, el coste de personal representa aproximadamente el 60% de los costes directos, incluyendo perfiles como ingenieros especializados en IoT, expertos en inteligencia artificial y gestores de proyectos. Esta inversión es fundamental para

garantizar el desarrollo, implementación y validación de la solución propuesta.

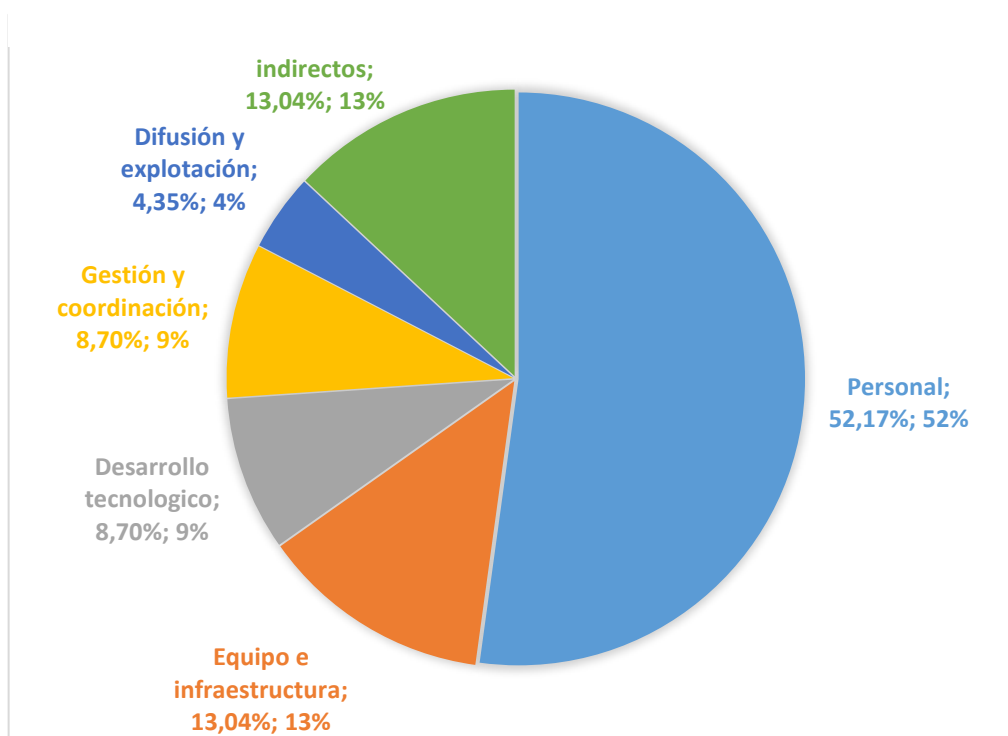
Por otro lado, se contempla una partida destinada a equipamiento e infraestructura tecnológica (15% de los costes directos), que incluye sensores IoT, sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos en la nube, así como dispositivos necesarios para la monitorización en los edificios piloto.

El desarrollo tecnológico, que abarca la creación de software, integración de sistemas y licencias necesarias, representa aproximadamente un 10% del presupuesto de costes directos. A ello se suman los costes asociados a la gestión y coordinación del proyecto (10% de los costes directos), imprescindibles para asegurar el correcto funcionamiento del consorcio y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Además, se incluye una partida destinada a actividades de difusión y explotación de resultados (5% de los costes directos), orientadas a maximizar el impacto del proyecto y facilitar la transferencia de los resultados obtenidos.

Finalmente, se incluyen los costes indirectos del proyecto como un 15% de los costes directos.

Ilustración 4: Gráfica gastos

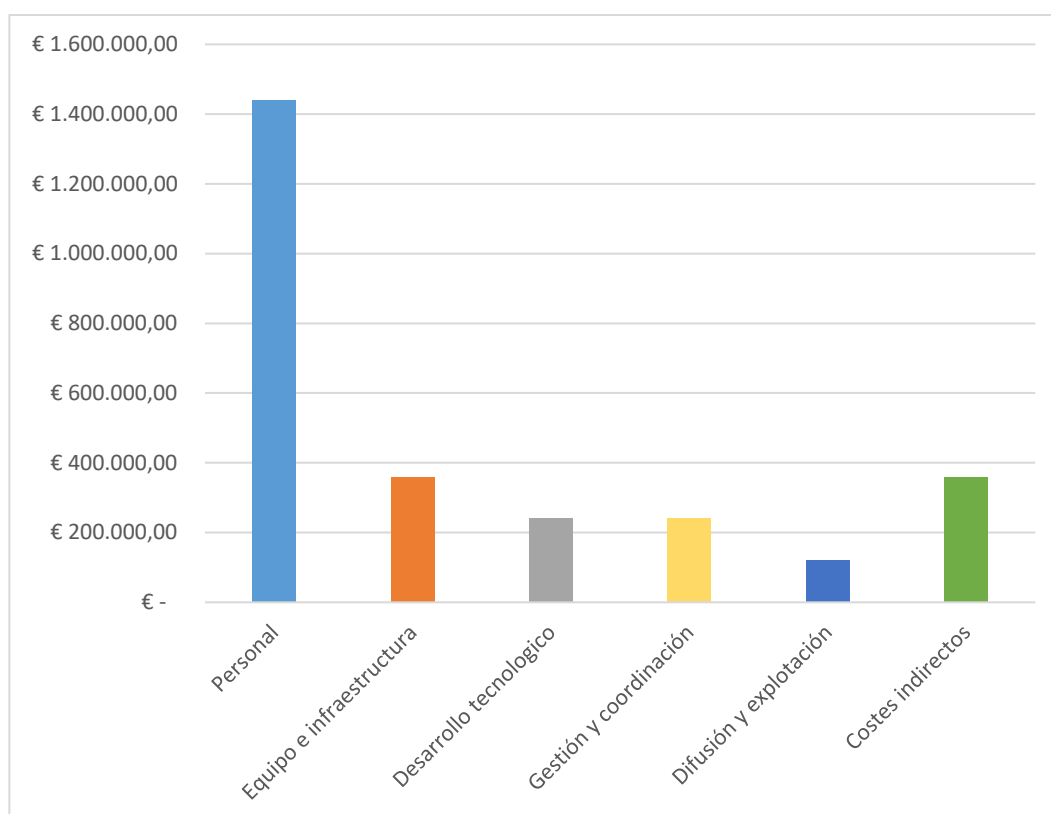


Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Distribución de costes

- Personal: 1.440.000 € (52% del presupuesto total)
- Equipamiento e infraestructura: 360.000 € (13% del presupuesto total)
- Desarrollo tecnológico: 240.000 € (9% del presupuesto total)
- Gestión y coordinación: 240.000 € (9% del presupuesto total)
- Difusión y explotación: 120.000 € (4% del presupuesto total)
- Costes indirectos: 15% de los costes directos (360.000 €) (13% del presupuesto total)

Ilustración 5: Distribución de costes



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3. Distribución de costes por socio

En cuanto a la distribución del presupuesto entre los miembros del consorcio, esta se ha realizado en función de sus responsabilidades dentro del proyecto. La empresa coordinadora, EnerSmart Solutions S.L., asume una mayor proporción del presupuesto debido a su papel central en el desarrollo tecnológico y la gestión global del proyecto.

De manera aproximada, la distribución sería la siguiente:

- EnerSmart Solutions S.L.: 35%
- Centro de investigación (TechLab): 30%
- Entidad pública (Ayuntamiento Donostia): 20%
- Consultora energética (GreenEnergyConsulting): 15%

La distribución presupuestaria del proyecto se ha realizado teniendo en cuenta las responsabilidades, recursos asignados y carga de trabajo asumida por cada uno de los miembros del consorcio. El objetivo de esta distribución es garantizar una asignación eficiente de los recursos financieros, alineada con las actividades previstas en cada paquete de trabajo y con la contribución esperada de cada entidad al logro de los objetivos del proyecto.

La empresa coordinadora, EnerSmart Solutions S.L., recibe el 35 % del presupuesto total debido a su papel como líder del consorcio y principal responsable del desarrollo tecnológico de la solución. Entre sus funciones se encuentran la coordinación general del proyecto, la gestión administrativa y financiera, el desarrollo de la plataforma IoT, la integración de los diferentes componentes tecnológicos y la supervisión de las actividades técnicas. Estas tareas requieren una elevada dedicación de personal especializado y concentran una parte significativa de los recursos del proyecto.

Por su parte, el centro de investigación TechLab Research Institute dispone del 30 % del presupuesto, justificado por su responsabilidad en el desarrollo de los modelos de inteligencia artificial, el análisis avanzado de datos y la validación científica de la solución. Su participación implica la dedicación de investigadores especializados y la ejecución de actividades de I+D que constituyen uno de los elementos clave de innovación del proyecto.

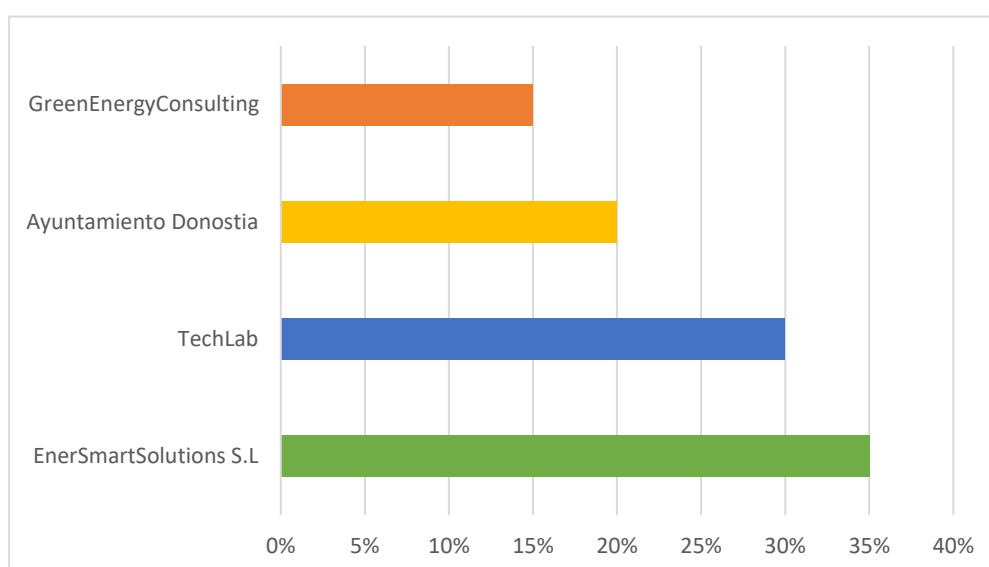
El Ayuntamiento de Donostia/San Sebastián recibe el 20 % del presupuesto al proporcionar los entornos reales de validación, facilitar el acceso a los edificios piloto y colaborar en la recopilación de datos,

pruebas de campo y evaluación de resultados. Aunque su carga tecnológica es menor, su participación es esencial para garantizar la demostración de la solución en condiciones operativas reales y alcanzar los niveles de madurez tecnológica previstos.

Finalmente, GreenEnergy Consulting dispone del 15 % del presupuesto, destinado principalmente a actividades de evaluación de impacto, análisis de sostenibilidad, explotación de resultados, replicabilidad y elaboración de estrategias de transferencia al mercado. Aunque su participación se concentra en fases concretas del proyecto, su contribución resulta fundamental para asegurar la viabilidad futura y la generación de impacto más allá de la finalización del proyecto.

Esta distribución presupuestaria refleja un equilibrio adecuado entre las actividades de investigación, desarrollo tecnológico, validación y explotación, siguiendo las prácticas habituales observadas en proyectos colaborativos financiados por el programa Horizonte Europa.

Ilustración 6: Distribución costes por socio



Fuente: Elaboración propia.

Esta distribución garantiza una asignación equilibrada de los recursos, alineada con las funciones de cada socio y con los principios de eficiencia y transparencia que caracterizan a los proyectos financiados por la Unión Europea.

4.3.2.Descripción de perfiles

Con el objetivo de garantizar una adecuada distribución de responsabilidades y aprovechar las capacidades complementarias de cada entidad participante, el proyecto contará con un consorcio multidisciplinar compuesto por organizaciones con experiencia en los ámbitos tecnológico, científico, institucional y estratégico.

La participación de entidades con perfiles diferenciados permite abordar el proyecto desde una perspectiva integral, cubriendo tanto el desarrollo técnico de la solución como su validación en entornos reales, el análisis de impacto y la futura explotación de resultados.

A continuación, se presenta una descripción resumida de los perfiles que integran el consorcio y de las principales funciones que desempeñarán dentro del proyecto.

Tabla 4: Descripción breve de perfiles del consorcio

Entidad	Perfil	Función principal en el proyecto
EnerSmart Solutions S.L. (España)	Empresa tecnológica especializada en soluciones IoT e inteligencia artificial aplicadas a la eficiencia energética.	Coordinación general del proyecto, desarrollo tecnológico e integración de la plataforma inteligente.

TechLab Research Institute (Alemania)	Centro de investigación especializado en análisis de datos, inteligencia artificial y modelos predictivos.	Desarrollo y validación de algoritmos predictivos y apoyo científico-técnico.
Ayuntamiento de Donostia/San Sebastián (España)	Entidad pública con interés en sostenibilidad y modernización de infraestructuras públicas.	Validación de la solución en edificios públicos y evaluación en entorno real.
GreenEnergy Consulting (Suiza)	Consultora especializada en eficiencia energética, sostenibilidad y proyectos europeos.	Evaluación de impacto, análisis de viabilidad y estrategias de explotación y replicabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Paquetes de trabajo, tarea, entregables e hitos

El proyecto SMARTERGY-AI se estructura en cinco paquetes de trabajo (Work Packages – WP) que cubren de forma integral todas las actividades necesarias para el desarrollo, validación y explotación de la solución tecnológica propuesta. La organización de los paquetes sigue una secuencia lógica y progresiva que permite garantizar la correcta coordinación entre socios, el desarrollo técnico del sistema y la futura replicabilidad de la solución en otros edificios públicos europeos.

La planificación contempla una duración total de 36 meses, distribuidos entre actividades de gestión, análisis funcional, diseño técnico, desarrollo tecnológico y difusión de resultados. Cada paquete de trabajo incluye tareas específicas, entregables, hitos de control y entidades responsables que permiten supervisar el avance del proyecto y asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos.

- **WP1:** Gestión del proyecto
- **WP2:** Análisis de requisitos y definición funcional
- **WP3:** Diseño técnico del sistema
- **WP4:** Desarrollo, integración y demostración del sistema
- **WP5:** Difusión, explotación y replicabilidad

4.3.3.1. WP1: Gestión del proyecto

Entidad responsable:

EnerSmart Solutions S.L. (España)

El WP1 tiene como objetivo garantizar la correcta coordinación técnica, administrativa y financiera del proyecto durante toda su ejecución. Este paquete de trabajo incluye las actividades relacionadas con la planificación general, seguimiento de hitos, gestión de riesgos, control presupuestario y comunicación con la Comisión Europea.

Como coordinador del consorcio, EnerSmart Solutions S.L. liderará todas las actividades de gestión, asegurando la correcta interacción entre socios y la adecuada ejecución del proyecto conforme a los objetivos establecidos por Horizonte Europa.

- **Tareas principales**

- T1.1 Constitución del comité de gestión
- T1.2 Coordinación técnica continua
- T1.3 Gestión financiera
- T1.4 Informes y seguimiento con la Comisión Europea
- T1.5 Gestión de riesgos y control de calidad

- **Entregables**

- D1.1 Plan de gestión del proyecto
- D1.2 Informe intermedio de seguimiento
- D1.3 Informe final técnico y financiero

- **Hitos**

- M1 Inicio oficial del proyecto
- M18 Revisión intermedia del proyecto
- M36 Cierre y validación final

4.3.3.2. WP2: Análisis de requisitos y definición funcional

Entidad responsable:

GreenEnergy Consulting (Suiza)

Entidades colaboradoras:

Ayuntamiento de Donostia/San Sebastián y EnerSmart Solutions S.L.

El WP2 se centra en el análisis de necesidades técnicas y funcionales necesarias para el diseño de la solución SMARTERGY-AI, permitirá definir los requisitos operativos del sistema, identificar las necesidades de los usuarios finales y establecer las especificaciones funcionales que servirán de base para el desarrollo tecnológico posterior.

GreenEnergy Consulting liderará las actividades relacionadas con el análisis energético, evaluación de necesidades y definición de indicadores de sostenibilidad, mientras que el Ayuntamiento facilitará información sobre edificios públicos y casos reales de uso.

- **Tareas principales**

- T2.1 Revisión normativa y requisitos regulatorios
- T2.2 Análisis de necesidades de usuarios
- T2.3 Evaluación de edificios y sistemas BMS
- T2.4 Definición de KPIs energéticos

- T2.5 Especificaciones funcionales del sistema

- **Entregables**

- D2.1 Documento de requisitos funcionales
- D2.2 Definición de arquitectura funcional y KPIs

- **Hitos**

- M3 Validación inicial de requisitos
- M5 Aprobación de especificaciones funcionales

4.3.3.3. WP3: Diseño técnico del sistema

Entidad responsable:

TechLab Research Institute (Alemania)

Entidades colaboradoras:

EnerSmart Solutions S.L.

El WP3 aborda el diseño técnico de la arquitectura SMARTERGY-AI, incluyendo la definición de la infraestructura IoT, la arquitectura cloud y los modelos predictivos basados en inteligencia artificial.

TechLab Research Institute liderará el desarrollo conceptual de los modelos predictivos y la validación científica de los algoritmos de inteligencia artificial, mientras que EnerSmart Solutions participará en el diseño de la arquitectura tecnológica y la interoperabilidad con sistemas existentes.

- **Tareas principales**

- T3.1 Diseño de arquitectura IoT
- T3.2 Diseño de arquitectura cloud

- T3.3 Desarrollo conceptual de modelos predictivos IA
- T3.4 Diseño de interfaces para gestores energéticos
- T3.5 Interoperabilidad con sistemas BMS

- **Entregables**

- D3.1 Diseño técnico de la arquitectura del sistema
- D3.2 Prototipo funcional de modelos predictivos

- **Hitos**

- M8 Validación del diseño técnico
- M10 Validación preliminar de modelos IA
- M12 Aprobación de la arquitectura final

4.3.3.4. WP4: Desarrollo, integración y demostración del sistema

Entidad responsable:

EnerSmart Solutions S.L. (España)

Entidades colaboradoras:

TechLab Research Institute y Ayuntamiento de Donostia/San Sebastián

El WP4 constituye el núcleo tecnológico del proyecto y concentra las actividades de desarrollo software, integración hardware y validación de la solución en edificios públicos reales.

EnerSmart Solutions liderará el desarrollo de la plataforma tecnológica y la integración de los dispositivos IoT, mientras que TechLab Research Institute colaborará en la implementación de los algoritmos de inteligencia artificial. El

Ayuntamiento de Donostia/San Sebastián facilitará los edificios piloto y coordinará las pruebas en entorno real.

- **Tareas principales**

- T4.1 Desarrollo de plataforma cloud
- T4.2 Implementación de algoritmos IA
- T4.3 Instalación de sensores y gateways IoT
- T4.4 Integración con edificios piloto
- T4.5 Pruebas funcionales y optimización
- T4.6 Demostración y validación en entorno real

- **Entregables**

- D4.1 Plataforma tecnológica operativa
- D4.2 Sistema integrado y validado
- D4.3 Informe final de demostración y resultados

- **Hitos**

- M18 Finalización del desarrollo principal
- M24 Integración completa del sistema
- M30 Validación en edificios piloto

4.3.3.5. WP5: Difusión, Explotación y replicabilidad

Entidad responsable:

GreenEnergy Consulting (Suiza)

Entidades colaboradoras:

Todos los socios del consorcio

El WP5 tiene como finalidad garantizar la difusión de los resultados obtenidos, promover la explotación comercial de la solución y facilitar su futura replicabilidad en otras ciudades y edificios públicos europeos.

GreenEnergy Consulting liderará las actividades relacionadas con estrategias de explotación, sostenibilidad y transferencia de resultados, mientras que el resto de los socios participarán en actividades de comunicación científica, eventos sectoriales y difusión institucional.

- **Tareas principales**

- T5.1 Estrategia de comunicación y difusión
- T5.2 Gestión web y redes sociales
- T5.3 Publicaciones científicas y técnicas
- T5.4 Participación en ferias y eventos sectoriales
- T5.5 Plan de explotación comercial
- T5.6 Estrategia de replicabilidad en ciudades europeas

- **Entregables**

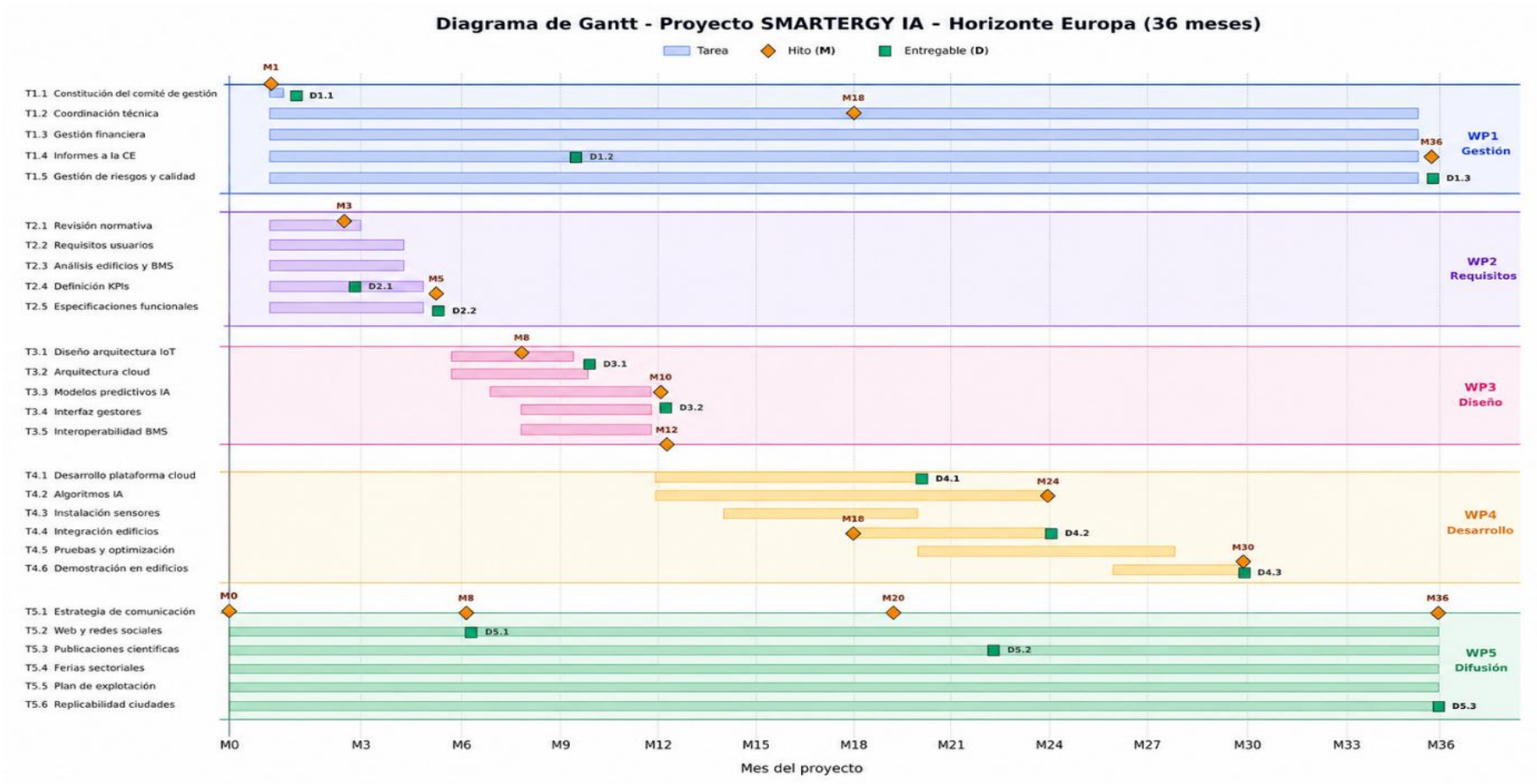
- D5.1 Plan inicial de comunicación y difusión
- D5.2 Estrategia de explotación y transferencia
- D5.3 Informe final de replicabilidad y adopción

- **Hitos**

- M0 Lanzamiento de actividades de difusión
- M8 Publicación inicial de resultados
- M20 Presentación intermedia en eventos europeos
- M36 Finalización del plan de explotación y replicabilidad

4.3.4. Cronograma

Ilustración 7: Cronograma completo



Fuente: Elaboración propia.

4.3.5. Riesgos y plan de mitigación

El desarrollo de proyectos tecnológicos innovadores implica la existencia de riesgos que pueden afectar a su correcta ejecución. En este apartado se identifican los principales riesgos del proyecto, así como las posibles medidas de mitigación.

4.3.5.1. Riesgos técnicos

- **Integración de tecnologías**
 - ✓ Problema: dificultad en integrar IoT + IA (Cornell University)
 - ✓ Mitigación: uso de estándares + pruebas piloto
- **Calidad de los datos**
 - ✓ Problema: datos incompletos o erróneos
 - ✓ Mitigación: validación y limpieza de datos

4.3.5.2. Riesgos organizativos

- **Coordinación del consorcio**
 - ✓ Problema: falta de comunicación entre socios
 - ✓ Mitigación: reuniones periódicas + herramientas gestión
- **Retrasos en planificación**
 - ✓ Problema: desviación en tiempos
 - ✓ Mitigación: seguimiento continuo + hitos

4.3.5.3. Riesgos económicos

- **Sobrecostes**
 - ✓ Problema: incremento de costes

- ✓ Mitigación: control financiero + reserva presupuesto

4.3.5.4. Riesgos externos

- **Cambios normativos**
 - ✓ Problema: nuevas regulaciones
 - ✓ Mitigación: adaptación continua
- **Baja adopción por usuarios**
 - ✓ Problema: resistencia al cambio
 - ✓ Mitigación: formación + interfaz amigable

4.3.5.5. Gestión del riesgo (NPR)

La gestión del riesgo en el proyecto SMARTERGY – AI tiene como objetivo anticipar posibles problemas que puedan afectar al desarrollo del proyecto y establecer medidas para minimizar su impacto.

La estrategia de gestión del riesgo se basa en un enfoque sistemático que incluye las siguientes fases: identificación, análisis, evaluación, planificación de respuestas y seguimiento.

En primer lugar, se realiza una identificación inicial de los riesgos potenciales, teniendo en cuenta tanto factores internos como externos. Posteriormente, cada riesgo es evaluado en función de su probabilidad de ocurrencia y su impacto sobre el proyecto, lo que permite determinar su nivel de criticidad.

A continuación, se definen medidas de mitigación orientadas a reducir la probabilidad de ocurrencia o el impacto de los riesgos. Estas medidas pueden ser preventivas o correctivas, dependiendo de la naturaleza del riesgo.

Finalmente, se establece un sistema de seguimiento continuo que permite revisar periódicamente el estado de los riesgos y actualizar las estrategias de gestión en función de la evolución del proyecto.

En las siguientes tablas recogen los principales riesgos identificados para el proyecto además de los valores que se le asignan a cada elemento de la multiplicación para lograr el NPR (Análisis del impacto mediante la herramienta NPR):

$$\text{NPR} = \text{Probabilidad} \times \text{Impacto} \times \text{Importancia} \times \text{Gravedad}$$

Probabilidad (escala 1–5)

Este parámetro mide la posibilidad de que un riesgo llegue a materializarse durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 5: Probabilidad

Valor	Descripción
1 (Muy baja)	El riesgo es altamente improbable. Solo ocurriría en circunstancias excepcionales y no se han identificado precedentes similares.
2 (Baja)	El riesgo podría ocurrir, pero no es habitual. Existen pocos antecedentes o condiciones poco favorables para su aparición.
3 (Media)	El riesgo tiene una probabilidad moderada de ocurrir. Puede darse en determinadas circunstancias del proyecto.
4 (Alta)	El riesgo es bastante probable. Existen antecedentes o condiciones que favorecen su aparición.
5 (Muy alta)	El riesgo es casi seguro. Se espera que ocurra en algún momento si no se toman medidas preventivas.

Fuente: Elaboración propia.

Impacto (escala 1–3)

Este parámetro evalúa el efecto que tendría el riesgo en caso de materializarse, en términos de alcance, tiempo, coste o calidad del proyecto.

Tabla 6: Impacto

Valor	Descripción
1 (Bajo)	El impacto es limitado y fácilmente gestionable. No afecta de forma significativa a los objetivos del proyecto.
2 (Medio)	El impacto es moderado. Puede generar retrasos o desviaciones que requieren acciones correctivas.
3 (Alto)	El impacto es significativo. Puede comprometer seriamente el cumplimiento de los objetivos del proyecto o alguno de sus entregables claves.

Fuente: Elaboración propia.

Importancia (escala 1–5)

Este parámetro refleja el nivel de prioridad que se debe asignar a cada riesgo dentro del proceso de gestión, en función de su relevancia estratégica para el proyecto.

Tabla 7: Importancia

Valor	Descripción
1 (Muy alta importancia)	Riesgo crítico que requiere atención inmediata y acciones prioritarias. Puede comprometer el éxito del proyecto.
2 (Alta importancia)	Riesgo relevante que debe ser gestionado de forma activa y supervisado de cerca.
3 (Importancia media)	Riesgo moderado que requiere seguimiento periódico.
4 (Baja importancia)	Riesgo de menor relevancia, con impacto limitado en el proyecto.
5 (Muy baja importancia)	Riesgo poco significativo que apenas afecta al desarrollo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Gravedad (escala 1–5)

Este parámetro evalúa la severidad de las consecuencias del riesgo en caso de ocurrir, considerando su repercusión global sobre el proyecto.

Tabla 8: Gravedad

Valor	Descripción
1 (Muy grave)	Consecuencias críticas que pueden provocar el fracaso del proyecto o la imposibilidad de alcanzar sus objetivos.
2 (Grave)	Consecuencias importantes que afectan significativamente al desarrollo del proyecto.
3 (Moderada)	Consecuencias apreciables, pero gestionables mediante acciones correctivas.
4 (Leve)	Consecuencias menores con impacto limitado.
5 (Muy leve)	Consecuencias casi irrelevantes para el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Aplicación herramienta NPR

Riesgo	Probabilidad (1 baja – 5 alta)	Impacto (1 bajo – 3 alto)	Importancia (1 alta - 5 baja)	Gravedad (1 alta- 5 baja)	NPR	Medidas de mitigación
Integración de tecnologías	2	2	4	3	48	uso de estándares + pruebas piloto
Calidad de los datos	1	2	3	3	18	Validación y limpieza de datos
Coordinación del consorcio	2	3	4	3	72	Reuniones periódicas + herramientas gestión
Retrasos en planificación	2	3	3	3	54	Seguimiento continuo + hitos
Sobrecostes	3	2	4	4	96	Control financiero + reserva presupuesto
Cambios normativos	1	3	3	4	36	Adaptación continua
Baja adopción por usuarios	2	1	3	2	12	Formación + interfaz amigable

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10: Clasificación Valor NPR

Nivel NPR (Número de Prioridad de Riesgo)	Clasificación
NPR > 60	Alto (Rojo)
20 < NPR ≤ 60	Medio (Naranja)
NPR ≤ 20	Bajo (Verde)

Fuente: Elaboración propia.

El seguimiento de los riesgos se realizará de forma periódica, revisando su evolución y aplicando medidas correctivas cuando sea necesario.

El aseguramiento de la calidad y la gestión del riesgo constituyen elementos esenciales para garantizar el éxito del proyecto SMARTERGY - AI. La definición de criterios de calidad claros y medibles permite establecer una base sólida para el control del proyecto, mientras que la implementación de un sistema de indicadores facilita el seguimiento continuo y la mejora de los procesos.

Por otro lado, la gestión proactiva de los riesgos permite anticipar posibles problemas y reducir su impacto, aumentando la capacidad de adaptación del proyecto ante situaciones imprevistas.

En definitiva, la integración de ambos enfoques contribuye a mejorar la eficiencia, la eficacia y la calidad global del proyecto, asegurando el cumplimiento de sus objetivos y la satisfacción de sus beneficiarios.

5. Conclusiones y trabajo futuro

El presente Trabajo Fin de Estudio ha permitido desarrollar una propuesta de financiación alineada con el programa Horizonte Europa, centrada en el diseño y planificación de un proyecto tecnológico orientado a la mejora de la eficiencia energética en edificios públicos mediante tecnologías de Internet of Things (IoT) e inteligencia artificial. A lo largo del trabajo se han abordado aspectos técnicos, organizativos y estratégicos, permitiendo diseñar una propuesta coherente con las prioridades europeas en materia de sostenibilidad, digitalización y transición energética.

El desarrollo del trabajo ha puesto de manifiesto la relevancia creciente de las tecnologías inteligentes aplicadas a la gestión energética, así como la necesidad de plantear soluciones integrales capaces de combinar monitorización, análisis predictivo y apoyo a la toma de decisiones. Asimismo, el enfoque adoptado ha permitido simular de forma realista la estructura de una propuesta europea de I+D+i, incorporando elementos fundamentales como la definición del consorcio, la planificación temporal, la estimación presupuestaria, la gestión de riesgos y la evaluación de impacto.

5.1.Principales conclusiones

El objetivo general del trabajo consistía en redactar una propuesta de financiación alineada con el programa Horizonte Europa para el desarrollo de un proyecto tecnológico orientado a la mejora de la eficiencia energética en edificios públicos mediante inteligencia artificial e IoT. A partir de este objetivo general, se definieron distintos objetivos específicos que han servido como guía para estructurar el desarrollo del trabajo.

En relación con el primer objetivo específico, centrado en el análisis del contexto energético y tecnológico de los edificios públicos, se ha realizado una revisión de la situación actual en el ámbito europeo, identificando la elevada contribución de los edificios al consumo energético total y las limitaciones existentes en los modelos

tradicionales de gestión energética. Este análisis ha permitido justificar la necesidad de impulsar soluciones inteligentes capaces de optimizar el consumo energético y contribuir a los objetivos climáticos establecidos por la Unión Europea.

Respecto al segundo objetivo específico, relacionado con el estudio del estado del arte, se han analizado diferentes tecnologías y soluciones existentes basadas en IoT, inteligencia artificial y gemelos digitales. Este análisis ha permitido identificar tanto el potencial de estas tecnologías como las limitaciones actuales relacionadas con la interoperabilidad, la escalabilidad o la integración en entornos reales. A partir de ello, se ha podido justificar la propuesta planteada en el presente trabajo, orientada a desarrollar una solución más flexible y adaptada al contexto de los edificios públicos.

En cuanto al diseño de la propuesta, se ha definido una estructura de proyecto coherente con los requisitos habituales del programa Horizonte Europa, incluyendo la definición de objetivos, paquetes de trabajo, cronograma, presupuesto, indicadores KPI y análisis de riesgos. Asimismo, se ha diseñado un consorcio multidisciplinar liderado por la empresa ficticia EnerSmart Solutions S.L., integrando perfiles tecnológicos, científicos e institucionales que permitirían abordar el proyecto desde una perspectiva integral.

Por otro lado, el trabajo ha permitido evaluar el impacto potencial de la solución propuesta, tanto desde el punto de vista energético como económico y medioambiental. En este sentido, la propuesta plantea una reducción significativa del consumo energético y de las emisiones asociadas, además de mejorar la capacidad de gestión y monitorización de los edificios públicos.

No obstante, el trabajo también presenta determinadas limitaciones. Al tratarse de una propuesta conceptual y de planificación, no se ha desarrollado una implementación técnica real del sistema, ni se han realizado pruebas experimentales sobre edificios concretos. Asimismo, algunas estimaciones relacionadas con el impacto energético o los costes se han basado en referencias bibliográficas y escenarios teóricos, por lo que podrían variar en una aplicación real.

A pesar de estas limitaciones, la realización del presente trabajo ha supuesto una importante aportación desde el punto de vista formativo y profesional, permitiendo aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos durante el máster en diseño y gestión de proyectos tecnológicos, especialmente en ámbitos relacionados con la planificación estratégica, la innovación tecnológica y la elaboración de propuestas europeas de financiación.

5.2. Líneas de trabajo futuro

El proyecto planteado presenta diversas posibilidades de evolución y ampliación futura. Una de las principales líneas de trabajo consistiría en el desarrollo e implementación real de la solución propuesta en edificios públicos, permitiendo validar experimentalmente el comportamiento de los modelos predictivos y evaluar con mayor precisión el impacto energético obtenido.

Asimismo, podría plantearse la incorporación de nuevas funcionalidades basadas en inteligencia artificial avanzada, como modelos de aprendizaje automático adaptativos o sistemas de mantenimiento predictivo orientados a detectar fallos en las instalaciones energéticas antes de que se produzcan incidencias.

Otra posible línea de evolución sería la integración de tecnologías de gemelo digital, permitiendo generar representaciones virtuales de los edificios para simular diferentes escenarios energéticos y optimizar la toma de decisiones en tiempo real. Del mismo modo, el sistema podría ampliarse para integrarse con otras infraestructuras inteligentes relacionadas con las smart cities, como redes eléctricas inteligentes, sistemas de almacenamiento energético o soluciones de movilidad sostenible.

Por último, también sería interesante analizar la replicabilidad de la solución en otros contextos, como hospitales, universidades o edificios privados, así como estudiar modelos de negocio que permitan facilitar su explotación comercial y su adopción a gran escala dentro del mercado europeo de soluciones inteligentes para eficiencia energética.

6. Referencias Bibliográficas

- ABB. (s.f.). *ABB*. Obtenido de https://www.abb.com/global/en/news/134442/smart-buildings-with-personality-technology-that-responds-to-human-needs?gad_source=1&gad_campaignid=23914995744&gbraid=0AAAABDI1a1kARL2CJ1qB-DFHoixQFljeg&gclid=CjwKCAjwgO7RBhBKEiwAZNP85v_ejFG89w4D_MtwlaNWs0k6mPlf
- Alonso, M. (2025). *BMS, el corazón digital del edificio inteligente*. Obtenido de <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/5302166/bms-corazon-digital-edificio-inteligente>
- Ayuntamiento de Donostia. (s.f.). Obtenido de <https://www.donostia.eus/eu/>
- CBRE. (2024). *La revolución de la IA en la gestión de instalaciones*. Obtenido de <https://www.cbre.es/insights/articles/la-revolucion-de-la-ia-en-la-gestion-de-instalaciones>
- Chen. (2021). *Intelligent optimal design for near-zero energy buildings performance: A case study of five climate zones in China*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544225029536>
- Cornell University. (s.f.). Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1811.09160>
- Digital Twin Consortium. (s.f.). Obtenido de <https://www.digitaltwinconsortium.org/>
- Energy Performance of Buildings Directive. (s.f.). Obtenido de Horizonte Europa: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- EU Building Stock Observatory. (s.f.). Obtenido de Horizonte Europa: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/eu-building-stock-observatory_en
- GreenEnergyConsulting. (s.f.). Obtenido de <https://greenconnect.ca/>

Horizonte Europa CLuster 5. (s.f.). Obtenido de https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2025/wp-14-general-annexes_horizon-2025_en.pdf

Horizonte Europa Cluster 5: Clima, Energía y Movilidad. (s.f.). Obtenido de Horizonte Europa: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/cluster-5-climate-energy-and-mobility_en?utm_source=chatgpt.com

Horizonte Europa TRL. (s.f.). Obtenido de <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/HORIZON-CL5-2026-02-D4-02?isExactMatch=true&status=31094501,31094502,31094503&callIdentifier=HORIZON-CL5-2026-02&order=DESC&pageNumber=1&pageSize=50&sortBy=s>

HVAC. (2024). *HVAC ¿qué es?* Obtenido de <https://www.solerpalau.com/blog/es-es/hvac-que-es/>

In focus: Energy efficiency in buildings. (s.f.). Obtenido de Horizonte Europa: https://commission.europa.eu/news-and-media/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en

intuitivas, I. (s.f.). *Interfaces intuitivas ¿qué es? ¿importancia?* Obtenido de <https://blog.nubox.com/software/interfaz-intuitiva-que-es>

IoT Aplicaciones para edificios inteligentes: Casos de uso y principales ventajas. (s.f.). Obtenido de <https://es.digi.com/blog/post/iot-applications-for-smart-buildings-use-cases-and>

MDPI Articles. (s.f.). Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/5/1381>

MDPI articles Digital Twins. (s.f.). Obtenido de Digital Twins for Smart Buildings: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1235>

Neshat, M. (2025). *Smart buildings energy consumption forecasting using adaptive evolutionary bagging extra tree learning models.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544225027720>

- Orhan, M. Y. (2022). *IoT-Based Systems for Energy Efficiency in Smart Buildings: Present, Trends and Sustainability Perspective*. Obtenido de file:///C:/Users/Ander/Downloads/16-Submission+184+pp+130-136.pdf
- Pacto verde Europeo*. (s.f.). Obtenido de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es
- Renovation Wave*. (s.f.). Obtenido de https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/renovation-wave_en
- Schneider Electric*. (s.f.). Obtenido de <https://www.se.com/ww/en/work/campaign/buildings-of-the-future/>
- SIEMENS. (s.f.). *SIEMENS*. Obtenido de <https://www.siemens.com/es-es/>
- Smart readiness indicator*. (s.f.). Obtenido de Horizonte Europa: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/smart-readiness-indicator_en
- SMARTSPEND. (2021). *More and better designed public support for energy technology*. Obtenido de <https://smartspend.eu/>
- Solutions, M. (2018). *MAchine Learning, una pieza clave en la transformación de los modelos de negocio*. Obtenido de <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/machine-learning.pdf>
- SPHERE. (2020). *BIM DIGITAL TWIN PLATFORM*. Obtenido de <https://sphere-project.eu/>
- TechLab*. (s.f.). Obtenido de <https://www.dlr.de/en/hr/research-transfer/research-infrastructure/techlab>
- Tecnalía*. (s.f.). Obtenido de <https://www.tecnalia.com/>
- Tribunal de cuentas Europeo*. (s.f.). Obtenido de Eficiencia energética en los edificios: es necesario insistir mas en la rentabilidad: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/es/>