

CÁTEDRA

en Economía y Gestión de la Innovación



Working Paper #2023/43

GESTIÓN EFICIENTE DE RECURSOS ENERGÉTICOS EN EDIFICIOS ¹

Urko Nieto Margalli²

Sara Hernández Sánchez³

Immanuel Mbithi Mutua⁴

Jesús Morente⁵

Borja Fernández Visier⁶

UAM-Asseco Working Papers

ISSN: 2172-8143

Edited by: UAM-Asseco Chair on Economics and Management of Innovation, Faculty of Economics and Business, Universidad Autónoma de Madrid

Editado por: Cátedra UAM-Asseco en Economía y Gestión de la Innovación, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Autónoma de Madrid

E-mail: catedra.uam-asseco@uam.es

URL: <https://www.catedrauam-asseco.com/uam-asseco-working-papers-2/>

¹ Este documento fue finalista del Primer Premio UAM-Asseco Business Case 2022.

² Correo de contacto: urko.nieto@tinamica.com

³ Correo de contacto: sara.hernandez@tinamica.com

⁴ Correo de contacto: immanuel.mutua@tinamica.com

⁵ Correo de contacto: jesus.morente@tinamica.com

⁶ Correo de contacto: borja.fernandez@tinamica.com

GESTIÓN EFICIENTE DE RECURSOS ENERGÉTICOS EN EDIFICIOS

Tinamica

Tinámica es una compañía especializada en IA, Big Data y analítica avanzada mediante Smart Data

Componentes

- Urko Nieto urko.nieto@tinamica.com
 - Ingeniero de Telecomunicaciones con especialización en electrónica y ciencia de datos es Data Scientist en Tinamica
- Sara Hernández Sánchez sara.hernandez@tinamica.com
 - Doctora en ingeniería matemática estadística y sistemas de comunicación es Data Scientist en Tinamica
- Immanuel Mutua immanuel.mutua@tinamica.com
 - Graduado en Administración y dirección de empresas con especialización en estadística y master en Big Data y matemáticas es Data Scientist en Tinamica
- Jesus Morente jesus.morente@tinamica.com
 - Licenciado en ciencias estadísticas con master experto en Deep learning y Big data es Manager en Tinamica
- Borja Fernández borja.fernandez@tinamica.com
 - Licenciado en ciencias actuariales y financieras con master experto en Deep learning es Data Scientist en Tinamica

Índice

1. Objetivos del proyecto	3
2. Definición del proyecto	4
Modelo Canvas.....	4
3. Definición de los planteamientos de la solución	5
Implantación IoT	5
Plataformas de gestión en la nube	8
Modelos de dinámica de calor.....	10
Algoritmos IA.....	12
a. Algoritmos para el control de la temperatura	12
b. Algoritmos y equipos para el control de la iluminación	13
c. Algoritmos y dispositivos para detección de personas y objetos	13
Herramientas de visualización	14
4. Solución elegida	16
5. Hitos y Gantt	17
6. Entregables	19
7. Riesgos	20
ANEXO A: Referencias.....	1
ANEXO B: Modelo Canvas	2
ANEXO C: Arquitectura IoT	5
ANEXO D: Plataformas de gestión en la nube	7
ANEXO E: Tipos de sistemas de regulación y control lumínica	17
ANEXO F: Rentabilidad y valoración de la inversión	20

1. Objetivos del proyecto

Se ha definido los objetivos del proyecto en base a la metodología SMART, acrónimo inglés para definir las características básicas que se deben establecer (Martins, 2022).



Figura 1: Acrónimo metodología SMART.

- Specific (específico): pretende lograr una meta específica.
- Measurable (medible): cuenta con algún elemento cuantificable que muestre cuando se ha alcanzado dicho objetivo y poder evaluar el éxito o fracaso de éste.
- Achievable (alcanzable): se encuentra dentro del ámbito de lo posible con los recursos adecuados.
- Relevant (relevante): se adecua a la actualidad y mejora el negocio de alguna manera.
- Time-bound (tiempo limitado): debe tener una fecha de finalización o fecha límite.

De acuerdo con esta metodología se han fijado los siguientes objetivos:

1. Control del bienestar

Control de indicadores relativos al confort asociados con la calidad del ambiente térmico (temperatura y humedad) y la calidad del ambiente luminoso.

Dichos indicadores serán medidos a través del:

- Control de la temperatura de la estancia o habitáculo. Observando que dicha temperatura entra dentro de un rango de confort establecido, pudiendo variar entre periodos estacionales.
- Y control de la intensidad luminosa. Ajuste de la intensidad luminosa en función del flujo de personas y/o tráfico y de la hora del día.

Para asegurar que este objetivo de bienestar sea alcanzable se deberá llevar a cabo una monitorización tanto de la temperatura como de la iluminación y la humedad relativa, con el uso adecuado de recursos que permitan la verificación y seguimiento de dichos indicadores.

2. Reducción del consumo de energía

Mediante el uso de algoritmos de **inteligencia artificial**, otras técnicas y **gemelos digitales** se crean los sistemas de control de temperatura, luz y humedad que logran la reducción del consumo de energía y por lo tanto de emisiones de CO₂.

- Con el control automático de la energía se puede llegar a evitar consumos en excesos y tener un control regulado, evitando tener iluminado estancias que no se estén usando, evitando aumentos o disminuciones drásticos de la temperatura de los sistemas de climatización.
- Como se va a tener monitorizada la temperatura la humedad y la iluminación se pueden hacer mediciones antes y después de implantar el sistema automático de regulación. Estas mediciones serán de energía temperatura media, humedad.
- La reducción del consumo de energía se mide mediante la comparación de periodos de tiempo equivalentes.
- Este consumo eficiente llevara a un ahorro en el mantenimiento de los edificios.

3. Fomentar el turismo sostenible

Mediante la información obtenida en los objetivos anteriores, se pone a disposición del ciudadano o turista **recomendaciones** para fomentar un turismo sostenible.

- Servicio de recomendación a los turistas puntos de interés (flujos) para maximizar el uso de la energía eficientemente.
- Visualización la información en una única plataforma, creada con diseño responsive para todo tipo de dispositivos.
- La medición se realizará mediante el análisis de tránsito en la herramienta (pág. web, app, etc.) y su influencia y capacidad de alterar el flujo habitual de turistas.

Se consideran todos los objetivos descritos alcanzables en un tiempo limitado ya que las tecnologías dispositivos y métodos a utilizar para alcanzarlos son conocidas y pueden ser desarrolladas por un equipo y tiempo acotados.

2. Definición del proyecto

La idea consiste en un sistema inteligente que regule la temperatura de las estancias de los edificios en los que aplique, así como el control de la intensidad de luz desde el apagado a su máxima intensidad buscando optimizar el consumo de energía. Además, los usuarios podrán visualizar la temperatura del edificio con una APP y obtener una recomendación de edificios de interés turístico en el cual sea lo más óptimo asistir teniendo en cuenta la eficiencia energética.

Se busca que se pueda aplicar a edificios públicos, museos, estaciones de autobuses, de trenes e incluso los mismos vehículos de transporte público y así ayudar a una reducción de la energía reduciendo los costes de mantenimiento de edificios y mejorando la calidad de vida del personal que habitualmente tiene que permanecer en estos edificios.

Mediante la generación de gemelos digitales de los edificios donde se va a implantar el sistema y aprendizaje por refuerzo se entrenarán las IAs para que aprendan a ajustar la temperatura al menor coste posible y a ajustar la luz de las estancias para ahorrar energía.

Modelo Canvas

Siguiendo el modelo Canvas, se ha desarrollado los siguientes puntos:

Socios clave - Proveedores de unidades de GPU. - Proveedores de sensores IoT. - Desarrolladores de software.	Actividades clave -IA para el control del consumo energía y monitorización. - Instalación de IoT y mantenimiento. - Herramientas de turismo sostenible.	Propuesta de valor -Reducir el consumo de energía. - Reducir la contaminación por la disminución de la energía. - Aumentar el confort de los usuarios de los edificios públicos. - Promover un turismo sostenible a ayudando a los turistas a redistribuirse.	Relaciones con clientes -Automatizada: Se busca una relación a largo plazo automatizada a través de los sistemas. Directa: En la implantación de los IoT y los sistemas inteligentes	Segmentos de clientes Edificios con espacios públicos con un consumo elevado de energía como: -Administraciones publicas: Edificios públicos como colegios, universidades, museos, estaciones de transporte público, ayuntamientos.... Sector privado: Centros comerciales, oficinas de empresa....
Estructura de costes - Costes fijos: - Costes Cloud. - equipos informáticos. - Costes variables: - Equipos de desarrollo. - Sensores IoT. - Suministros.		Líneas de ingresos - Ingresos por la instalación de los sistemas inteligentes en los edificios. - Ingresos por mantenimiento.		

3. Definición de los planteamientos de la solución

Implantación IoT

Para el control del bienestar y el confort de las personas que transiten los espacios controlados es necesaria la monitorización de los parámetros ambientales. Además, la recolección de datos de factores como la radiación solar, la temperatura y la ocupación son clave para la optimización de consumo de energía. Para recolectar estas características se propone el despliegue de dispositivos IoT en forma de red de sensores.

La clave de una red de sensores eficiente es caracterizar el entorno lo máximo posible sin incidir en él, de manera que los sensores deben medir las características necesarias siendo mínimamente intrusivos. Se plantean dos estructuras posibles de despliegue de dispositivos:

Despliegue de la red mínima mediante el uso de elemento ya presentes

La alternativa con despliegue de medios reducida consiste en el aprovechamiento de los dispositivos ya presentes en los edificios. Este enfoque pretende optimizar el hardware desplegado, reforzando el procesamiento de los datos ya disponibles mediante la combinación de factores. El aprovechamiento de sistemas instalados se presenta de la siguiente manera:

- Temperatura: uso de los termostatos de control de temperatura presentes y aquellos incorporados en los aparatos de control de temperatura.
- Radiación solar y humedad: uso de dispositivos de control del ambiente comerciales y utilización de datos proporcionados por la meteorología local.
- Luminosidad: procesamiento de datos basado en la hora del día y la época del año.
- Ocupación: combinación de las cámaras de vigilancia y puntos de acceso WIFI. Se realiza un procesamiento mediante visión artificial de las imágenes ofrecidas por los dispositivos de vigilancia en combinación con sistemas de medición de RSSI de equipos, tanto móviles como portátiles, para estimar el número de personas y dispositivos presentes.

Debido a que el aprovechamiento de dispositivos presentes resulta en mediciones menos precisas se deben tener en cuenta los márgenes de incertidumbre que son trasladado al entrenamiento de la IA. Además, la incompatibilidad de las interfaces ofrecidas por estos dispositivos genera la necesidad de crear una etapa de procesamiento intermedia que adecue los datos a los estándares de la IA.

En caso de que la estancia no cuente con los dispositivos mínimos de recolección de datos, se procedería a la instalación de elementos IoT que cumplieran funciones similares.

Despliegue de la red completa

La alternativa del despliegue completo propone una instalación propia de la red de dispositivos IoT. El enfoque prima la estandarización de procedimientos de monitorización, ya que la interfaz de estos datos y su procesamiento para la IA serían idénticos en cada cliente. A su vez, el despliegue de la red completa incrementa el presupuesto de los aparatos IoT y el trabajo necesario para su instalación. La proposición plantea los siguientes elementos de monitorización:

- Temperatura y humedad: uso de sensores para interiores donde combinan mediciones de temperatura y humedad.
- Temperatura y radiación solar: uso de sensores para exteriores dispuestos cerca de las ventanas con combinación de mediciones de temperatura y radiación solar.
- Luminosidad: uso de sensores de medición de luminosidad con la que se combina la información de la radiación solar para las estancias correspondientes.
- Ocupación: uso combinado de sensores de niveles acústicos, en combinación con cámaras de video procesadas mediante visión artificial y aparatos de medición de señales WIFI para estimación de aparatos electrónicos presentes.

El enfoque completo del despliegue de red IoT pretende ofrecer un servicio de monitorización completo y preciso para un control más profundo e inteligente del entorno. Además, la variedad de parámetros disponibles y su precisión permite desarrollar IAs más completas que se mantengan relevantes tecnológicamente.

Arquitectura de la red IoT

La arquitectura de dispositivos propuesta pretende dar solución a ambos planteamientos propuestos, la reutilización de los elementos presentes y el despliegue completo de la red IoT, con un planteamiento conjunto.

La red de información se centraliza en un sistema Pasarela IoT que sirve de punto de interconexión entre los datos generados por los sensores y otros dispositivos de la red y el punto de conexión IoT del servicio en la nube. Además, el uso de dispositivos de pasarela separa la red de sensores del exterior y permite mayor flexibilidad a la hora de escoger equipos IoT.

Por un lado, debido a que los equipos IoT comerciales no están obligados a llevar sistemas de seguridad, suelen ser equipos muy susceptibles a ataques. La pasarela permite controlar el tráfico de entrada y salida de la red, protegiéndola así de ataques externos. También permite establecer sistemas de encriptado de datos que aseguran la confidencialidad de estos, siendo esta imprescindible al tratar con imágenes.

Por el otro, teniendo en cuenta que las pasarelas comerciales cuentan con múltiples protocolos de comunicaciones IoT como LoRa, ZigBee, 4G... ofrecen una mayor flexibilidad a la hora de seleccionar los dispositivos IoT y sensores que forman la red y centraliza la recolección de los datos.

Por último, tener la red centralizada permite manejar con mayor eficiencia la energía que consumen los equipos dentro de la red, pues estos solo tienen que enviar los datos a la pasarela y es en esta donde se concentran las tareas de preprocesado, gestión de latencia y volumen de datos. Reducir el volumen de los datos también optimiza el uso y consumo de los servicios de la nube.

Dispositivos de coordinación

- Pasarela IoT: Punto de interconexión entre los dispositivos de la red IoT y el servicio de administración y almacenamiento de datos en la nube. Punto de centralización y administración de sistema de dispositivos de monitorización y control.

Dispositivos de monitorización

- Sensor interior de temperatura y humedad: Sensores de monitorización de condiciones de ambiente para interiores ubicados en cada estancia del edificio. Recogen los principales parámetros de confort de las estancias que sirven como valor objetivo para la evaluación del control.
- Sensor exterior de temperatura: Sensor de monitorización de temperatura ubicados en las fachadas del edificio. Recogen los datos necesarios para estimar las capacidades aislantes del edificio y estimar las pérdidas de calor efectivas del edificio.
- Sensor exterior de radiación solar: Sensores de monitorización de nivel de iluminación solar ubicado en las ventanas del edificio. Recoge la aportación tanto de calor como de luz natural para estimar su aportación al sistema de control.
- Sensor interior de recuento de ocupación: Sensor de presencia de paso y recuento de personas ubicado en las puertas principales del edificio. Recoge información para estimar el número total de personas en el edificio para calcular el aporte calorífico de la ocupación del edificio.
- Cámara interior de recuento de ocupación: Cámara de recuento de personas ubicada en cada estancia. Mediante visión artificial se estima el número de personas y equipos informáticos presentes en las estancias para calcular su aportación calorífica.
- Adaptadores de salida a protocolos IoT: Elementos interfaz para conectar aparatos de monitorización ya existentes, no compatibles con IoT, a la pasarela. Permiten conectar

aquellos equipos como cámaras de seguridad y sistemas térmicos centralizados con salidas series, USB... estándares a la nube mediante la red IoT.

Dispositivos de control

- Dispositivos de iluminación IoT: Bombillas y focos regulables de manera remota mediante protocolos IoT. Su función es ser reguladas por los algoritmos de control de luz para optimizar los niveles de iluminación de acuerdo con la luz natural de cada estancia y la ocupación de esta.
- Dispositivos de control de temperatura IoT: Válvulas de radiadores reguladas de manera remota mediante protocolos IoT. Para redes donde la calefacción está centralizada las válvulas se utilizan para asegurar el confort térmico de las diferentes estancias.

Tabla 1 Ventajas e inconvenientes de las propuestas de despliegue de la red IoT

Red IoT	Ventajas	Inconvenientes
Alternativa 1: Reutilización de dispositivos presentes	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilización de recursos hardware presentes en el edificio. • Instalación rápida. • Reducción de elementos de monitorización invasivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inconsistencias en la recolección de datos. • Estudio individual de cada proceso de instalación. • Necesidad de creación de planes de instalación alternativos para cubrir carencias del entorno.
Alternativa 2: Instalación de red IoT completa	<ul style="list-style-type: none"> • Estandarización de la instalación. • Estandarización de mantenimiento y actualización. • Recolección de datos consistente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor gasto inicial de hardware. • Instalación más costosa e invasiva.

Debido a la dependencia entre la dimensión de una red IoT y el edificio en el que se despliega, se toma una planta de oficina de tamaño medio de 400m² de concepto abierto y 2 salas de reuniones como punto de partida para la estimación de costes. El desarrollo de costes se realiza en **ANEXO C: Arquitectura IoT**.

Tabla 2 Costes asociados al despliegue y mantenimiento de las redes IoT

Alternativa	Coste de adquisición [€]	Coste de instalación [€]	Coste de despliegue [€]	Mantenimiento [€/año]
Reutilización de elementos	2.150,00 €	2.535,00 €	4.685,00 €	520,92 €
Despliegue completo	2.550,00 €	2.895,00 €	5.445,00 €	569,25 €

Tabla 3 Costes asociados al desarrollo de la arquitectura IoT

	Horas	Precio por hora	Total
Desarrollo de la infraestructura IoT: (arquitectura, plan de implantación y configuración)	640	60 €	38.400 €

Solución elegida

La solución elegida es el despliegue de la red completa. A pesar de tener costes ligeramente superiores para el plan de despliegue propuesto, la estandarización de procesos asociados al control de la red en

su totalidad permite automatizar procesos de instalación y configuración y los costes asociados a estos. Además, la elección de equipos de monitorización y su completa gestión permite adecuar los niveles de calidad del dato a los estándares necesarios para el correcto funcionamiento de la IA y permite establecer medidas de seguridad adicionales que pueden requerir las diferentes soluciones.

Plataformas de gestión en la nube

La correcta gestión de los dispositivos IoT es fundamental para tener un análisis seguro en la nube. Se ha decidido utilizar una solución basada en la nube, ya que suelen ser más rentables que la construcción de una plataforma local. Entre los diferentes proveedores de servicios para la gestión de dispositivos IoT, se han considerado las siguientes opciones debido a que poseen colectivamente casi el 80% del mercado global de nube pública de IoT: Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure y Google Cloud (GCP).

Tabla 4: 5 Ventajas e inconvenientes de las plataformas de gestión en la nube de AWS, Azure y Google.

Plataforma	Ventajas	Inconvenientes
AWS IoT	<ul style="list-style-type: none"> • Alta conectividad (Wellnuts, 2022). • Muchos SDK para diversas necesidades de IoT. • Escalabilidad. • Capacidades de inteligencia artificial y aprendizaje automático. • Numerosas soluciones en la nube (bases de datos, almacenamiento, <i>edge computing</i>, etc.). • Pago por uso. • Capacidad de localizar rápidamente los dispositivos conectados basándose en el estado del dispositivo, el ID del dispositivo, el tipo, etc (Molina, s.f.). • Restablecimiento de fábrica, actualizaciones (OTA), reinicios y parches de seguridad en remoto. • Posibilidad de establecer jerarquías para grupos de dispositivos y sensores para facilitar la gestión. • Posición dominante en el mercado. • Soporte de infraestructura a grandes corporaciones. • Gran cantidad de servicios y formaciones regladas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ciertos servicios son muy costosos, especialmente para principiantes y pequeñas empresas. • Dificultad de uso. • Excesiva cantidad de opciones.
Azure IoT	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema operativo para la gestión de IoT. • Múltiples herramientas para soporte perimetral y de dispositivos. • Características como Digital Twins, Accuweather, Azure Maps y más. • Interfaz intuitiva. • Modelos de precios flexibles. • Sistema de seguridad confiable. • Fácil implementación y buena documentación. • Integración con el software y herramientas de Microsoft. • Segundo mayor proveedor de la nube. • Soporte <i>open source</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece menos servicios gratuitos para suscriptores. • El sistema IoT carece de documentación completa. • Podría ser demasiado caro para uso individual. • No tiene capacidades de inteligencia artificial y aprendizaje automático tan poderosas como AWS o Google. • Podría tener mejores capacidades de integración hardware.

Google Cloud IoT	<ul style="list-style-type: none"> • Se ejecuta en una infraestructura sin servidor, que se escala automáticamente en respuesta a cambios en tiempo real (Technology Advice, s.f.). • Estrictos protocolos de seguridad. • Funciona de forma inmediata con dispositivos de los principales fabricantes de hardware. • Pago por uso. • Certificados firmados por CA, autenticación de clave asimétrica sobre TLS 1.2 para la seguridad. • No requiere instalación previa de software; tiene equilibrio de carga automático y escalado horizontal. • Integración con servicios de análisis de Big data y ML de Google, como Cloud Bigtable, Cloud Dataflow y Google Data Studio, para obtener información. • Seguimiento y registro mediante Stackdriver para observar las métricas del dispositivo y revisar los registros de conexión/error. • Diseñado para empresas nativas de la nube. • Permite <i>open source</i> y la portabilidad. • Descuentos y contratos flexibles. • Experiencia en DevOps. 	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene funciones de autenticación de dos factores. • Una empinada curva de aprendizaje • Falta de soporte para funciones definidas por el usuario. • Entrada tardía al mercado de las IaaS (Infrastructure as a service). • No proporciona servicios de datos específicos IoT. • Históricamente no tan centrada en la empresa.
-------------------------	--	---

Se incluye una comparativa de servicios (IoT Analytics, 2022) en base a la **gestión/habilitación de aplicaciones IoT** (servicios diseñados para la creación y administración de aplicaciones de IoT por parte de los desarrolladores, como motores de reglas, entornos de desarrollo y gemelos digitales), **gestión de dispositivos IoT** (servicios diseñados para garantizar la conectividad y el correcto funcionamiento de parches y actualizaciones, como monitoreo de dispositivos, actualizaciones de firmware o gestión de configuración de despliegue), **gestión/habilitación de datos de IoT** (servicios diseñados para una conectividad fluida de activos/perímetro, como controladores para conectar dispositivos, y para proporcionar capacidades para almacenar y analizar datos de IoT) y **otros servicios IoT cloud**.

Tabla 6: Comparativa IoT Clouds. Fuente (IoT Analytics Research)

	Nº de servicios IoT Cloud listados	Gestión/habilitación de aplicaciones	Gestión de dispositivos	Gestión/habilitación de datos	Otros servicios IoT cloud
AWS	13	AWS IoT TwinMaker AWS IoT Roborunner AWS IoT FleetWise AWS IoT Events	AWS IoT Device Management AWS IoT 1-Click	AWS IoT Core AWS IoT SiteWise AWS IoT Greengrass AWS IoT Analytics	AWS IoT Device Defender Free RTOS AWS IoT ExpressLink
Azure	9	Azure IoT Central Azure Digital Twins	Azure IoT Hub	Azure IoT Edge Azure Time Series Insights Azure Percept	Azure Sphere Azure RTOS

					Azure Defender for IoT
Google Cloud ¹	1		IoT Core		

Teniendo en cuenta la documentación sobre precios que ofrece cada plataforma, resumida en ANEXO D: Plataformas de gestión en la nube, suponiendo que se cuenta con 1000 dispositivos conectados que mantienen una conexión constante durante 30 días, y además cada día, cada dispositivo envía 288 mensaje de 1 KB de tamaño, el coste para cada plataforma se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Costes mensuales de las plataformas de gestión de dispositivos IoT.

Plataforma	AWS	Azure Basic	Azure Standard	Google
Costes (€)	270,60€/mes	202,49€/mes	216,96€/mes	154,81€/mes

Elección de la plataforma

Basado en las ventajas y los inconvenientes mencionados anteriormente y los costes de mensuales estimados de la infraestructura (para más detalles consultar ANEXO D: Plataformas de gestión en la nube), se ha llevado a cabo un cuadro de los cálculos por entorno *cloud* ponderados en base a los criterios presentes en la Tabla 8.

Tabla 8: Comparativa proveedor entornos Cloud.

Criterio	Ponderación	AWS	Azure	Google
Facilidad de uso	9	7	9	9
Facilidad de configuración	9	6	9	8
Precio mensual de la arquitectura diseñada	8	8	8	9
Potencia, velocidad y eficiencia de procesamiento	7	9	9	8
Cantidad, calidad y organización de la documentación oficial	7	10	8	10
Disponibilidad de regiones	2	10	10	8
Experiencia previa del equipo de desarrollo en la plataforma	10	7	10	5
Adaptabilidad del entorno para futuras modificaciones o evolutivos	8	9	9	8
Cumplimiento de los servicios escogidos para las necesidades reales	9	10	10	9
TOTAL		0,820289855	0,908695652	0,814492754

Teniendo en cuenta los criterios mencionados en la Tabla 8, se determina que la mejor opción sería Azure, gracias a una estrategia más centrada en IoT y un fuerte enfoque en el soporte empresarial.

Modelos de dinámica de calor

Para reducir el consumo de energía se va a hacer uso de algoritmos de inteligencia artificial que controlen la climatización del habitáculo. Para ello es necesario, modelizar la dinámica de calor de dicha estancia. Se pueden considerar tres enfoques posibles para caracterizar el comportamiento térmico del edificio (Bagheri, Feldheim, Thomas, & Ioakimidis, 2016): modelos de caja blanca (*white box*), modelos de caja negra (*black box*) y modelos de caja gris (*grey box*).

¹ Google lista otros 4 servicios IoT, pero de naturaleza general que también pueden ser aplicados para escenarios que no son IoT.

Ventajas e inconvenientes de cada alternativa elegidos (Amara, Agbossou, Cardenas, Dubé, & Kelouwani, 2015):

Tabla 9: Ventajas e inconvenientes de las alternativas modelos de dinámica de calor de edificios o estancias.

Métodos de simulación	Ventajas	Inconvenientes
White box	<ul style="list-style-type: none"> • Los resultados se pueden interpretar en términos físicos. • No se necesitan datos de entrenamiento. • Existen herramientas de simulación como EnergyPlus, ESP-r o TRNSYS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere una descripción detallada de la geometría. • Dependiendo del nivel de precisión elegido, puede presentar una elevada complejidad.
Black box	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere una descripción detallada de la geometría. • Modelos empíricos, parámetros del modelo ajustados automáticamente. • Facilidad de desarrollo en comparación con otros métodos. Suelen emplear artificial <i>neural networks</i> (ANN), <i>nonlinear autoregressive exogenous</i> model (NARX), etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se dispone de conocimiento sobre el comportamiento del sistema. Dificultades en interpretar los resultados en términos físicos. • Estos modelos usan solo datos de entrada/salida medidos y métodos de estimación estadística, por lo que su funcionamiento depende del entrenamiento. • Una gran cantidad de datos de entrenamiento es necesaria.
Grey box	<ul style="list-style-type: none"> • Una descripción aproximada de la geometría del edificio es suficiente. • Resultados se pueden interpretar en términos físicos. • Formas mixtas o de transición entre los modelos de caja blanca y caja negra. Un ejemplo serían los modelos de circuito eléctrico equivalente RC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere cierto conocimiento sobre el comportamiento del sistema. • Una pequeña cantidad de datos de entrenamiento es necesaria.

Los costes asociados a la modelización de la dinámica de calor de la estancia o edificio serían los siguientes:

Tabla 10 Costes asociados al desarrollo de los modelos de dinámica de calor

	White box	Black box	Grey box
Desarrollo	60 €/hora-persona, 320 horas	60 €/hora-persona, 160 horas	60 €/hora-persona, 320 horas
Licencias	0-10.000€	-	-
Mantenimiento	60 €/hora-persona, 160 horas	60 €/hora-persona, 160 horas	60 €/hora-persona, 160 horas
TOTAL	28.800 € - 38.800€	19.200 €	28.800 €

Elección del modelo de dinámica de calor

El modelo seleccionado para representar la dinámica de calor de los edificios ha sido el basado en modelos de caja blanca o *white box*, ya que a pesar de presentar una mayor complejidad a la hora de desarrollarlos y requieren un conocimiento más detallado de la geometría de la estancia o del edificio, permite, mediante entornos software, realizar simulaciones más precisas de los sistemas de energía térmica y eléctrica.

Algoritmos IA

a. Algoritmos para el control de la temperatura

Dentro de las categorías en las que se divide el Machine Learning se ha optado por el aprendizaje por refuerzo (Reinforcement Learning, RL) para el control de la climatización de una estancia, ya que es el que más se adecua para resolver el problema y es ampliamente utilizado en el desarrollo soluciones para ciudades inteligentes, tanto en entornos de Smart Home como Smart Building o Smart Mobility. El RL permite que los algoritmos aprendan qué acciones se deben tomar para maximizar una recompensa, en este caso, mantener la temperatura en un rango de confort establecido.

El RL se pueden ejecutar de dos formas, con algoritmos *model-based* (basado en el modelo) o *model-free* (sin modelo). Para la problemática del control de la climatización en edificios debe considerarse el subconjunto de algoritmos dentro de la categoría *model-free*, ya que no se conoce el funcionamiento del entorno, ni las funciones de transición o recompensa, sino que se aprende por experiencia, basándose en la recompensa que se obtiene al realizar determinadas acciones.

A su vez los algoritmos *model-free* se dividen en dos enfoques principales *policy optimization* (centrados en optimizar la política de toma de decisiones de un agente) y *Q-learning* (centrados en aprender una función que mapee pares de estados-acciones a un valor, para utilizarla en la toma de decisiones óptimas). Se han considerado dos alternativas en total, el algoritmo DQN (Deep Q-Network), perteneciente a los algoritmos de Q-learning, y el DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient), algoritmo entre los dos extremos de *policy optimization* y *Q-learning*.

Los ventajas e inconvenientes de cada uno de estos algoritmos se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11: Ventajas e inconvenientes de algoritmos DQN y DDPG.

Algoritmo RL	Ventajas	Inconvenientes
DQN	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuado para problemas con estados continuos y acciones discretas. • Más eficientes respecto a la cantidad de datos necesarios en el aprendizaje que los de <i>policy optimization</i>. • Aprendizaje estable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Convergencia lenta, pero eficiencia alta. • Enfocado más en optimizar una recompensa inmediata.
DDPG	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuado para problemas con estados continuos y acciones continuas o de muchas dimensiones. • Adecuado para problemas donde hay que optimizar las acciones a lo largo del tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere optimizar más hiperparámetros que el DQN. • El aprendizaje puede ser inestable. • Generalmente, mayor tiempo de entrenamiento que el DQN.

Los costes asociados al desarrollo y mantenimiento de los algoritmos se muestran en la siguiente tabla (ver Tabla 12):

Tabla 12: Costes desarrollo y mantenimiento algoritmos para el control de la temperatura.

	DQN	DDPG
Desarrollo software	60 €/hora-persona, 480 horas	60 €/hora-persona, 480 horas
Mantenimiento	60 €/hora-persona, 160 horas	60 €/hora-persona, 160 horas
TOTAL	38.400 €	38.400 €

Elección del algoritmo

Basado en las ventajas e inconvenientes mostradas en la Tabla 11 y en la consulta a trabajos de la literatura y el estado del arte actual para problemas del control de la climatización, se ha decidido como solución el algoritmo DQN. El algoritmo DQN es apropiado para un entorno con un espacio de acción discreto (subir o bajar la temperatura, encender o apagar la calefacción o el aire acondicionado), además de necesitar normalmente menos experiencia que el DDPG para encontrar una solución a la tarea.

b. Algoritmos y equipos para el control de la iluminación

Modelos de ML

Existen muchos tipos diferentes de modelos de machine learning que se pueden utilizar en dispositivos IoT de regulación de luz, dependiendo de la tarea específica que se quiera realizar. Algunos tipos de modelos de machine learning comunes que podrían ser útiles en este contexto incluyen:

- Regresión
- Clasificación
- Redes neuronales
- Máquinas de soporte vectorial
- Árboles de decisión

Equipos de control y modulación para una iluminación eficiente

La iluminación (en prestaciones, mantenimiento y reducción de consumo) que genera el alumbrado LED con respecto a otras tecnologías como la halógena o la fluorescente dispone de una característica adicional muy importante, un amplio control de los dispositivos lumínicos.

c. Algoritmos y dispositivos para detección de personas y objetos

Dispositivos

Hay varias formas en las que se pueden utilizar los dispositivos IoT y los modelos de machine learning para detectar personas en un edificio. Algunas ideas incluyen:

- Utilizar sensores de movimiento: Los dispositivos IoT pueden incluir sensores de movimiento que pueden detectar la presencia de personas en una habitación. Estos sensores pueden enviar una señal a un dispositivo de control central, que a su vez puede utilizar un modelo de machine learning para analizar la actividad del sensor y determinar si hay una persona presente o no.
- Utilizar cámaras de vigilancia con reconocimiento facial: Los dispositivos IoT pueden incluir cámaras de vigilancia equipadas con tecnología de reconocimiento facial. Estas cámaras pueden enviar imágenes a un dispositivo de control central, que a su vez puede utilizar un modelo de machine learning para analizar las imágenes y determinar si hay una persona presente o no.
- Utilizar sensores de presencia: Los dispositivos IoT pueden incluir sensores de presencia que pueden detectar la presencia de personas a través de diferentes medios, como el calor corporal o el movimiento. Estos sensores pueden enviar una señal a un dispositivo de control central, que a su vez puede utilizar un modelo de machine learning para analizar la actividad del sensor y determinar si hay una persona presente o no.

- Utilizar dispositivos de seguimiento: Los dispositivos IoT pueden incluir dispositivos de seguimiento que pueden detectar la presencia de personas a través de diferentes medios, como el Bluetooth o el Wi-Fi. Estos dispositivos pueden enviar una señal a un dispositivo de control central, que a su vez puede utilizar un modelo de machine learning para analizar la actividad del dispositivo y determinar si hay una persona presente o no.

Algoritmos

Existen varios algoritmos de inteligencia artificial que se pueden utilizar para detectar personas en imágenes o video. Algunos de ellos son:

- Algoritmos de detección de objetos o personas: Estos algoritmos utilizan técnicas de visión por computadora para detectar y clasificar objetos en una imagen o video. Pueden utilizarse para detectar personas al identificar características comunes de las personas, como formas de cabeza, cuerpo y extremidades.
- Algoritmos de reconocimiento facial: Estos algoritmos utilizan técnicas de aprendizaje automático para reconocer las características faciales únicas de una persona. Pueden utilizarse para detectar y reconocer personas en imágenes o video.
- Algoritmos de rastreo de objetos: Estos algoritmos utilizan técnicas de seguimiento de objetos para rastrear y seguir a las personas en una secuencia de imágenes o video.
- Algoritmos de detección de movimiento: Estos algoritmos utilizan técnicas de procesamiento de video para detectar cambios en el movimiento de los objetos en una imagen o video. Pueden utilizarse para detectar personas al identificar movimientos característicos de las personas.

Herramientas de visualización

En este apartado se buscan herramientas con las cuales el usuario interactuará con el sistema. Es la cara visible de todo el sistema.

Aplicación web

Una aplicación web es una solución dinámica que nos permite desarrollar aplicaciones *responsive*, es decir, que se adecuan a la pantalla de la persona que está haciendo uso de la aplicación.

Con dos funcionalidades:

- Información al usuario de los edificios de la información recopilada de los sensores.
- Web que recomienda puntos de interés turísticos que busca fomentar a los turistas a realizar un turismo sostenible recomendando qué lugares y momentos es mejor para un menor consumo energético (sostenibilidad).

Tabla 13 Costes asociados al desarrollo de la aplicación web

Concepto	Horas	Precio por hora	Total
Desarrollo web	480	60 €	28000 €
Coste de mantenimiento (bolsa de 100 horas)	100	60 €	6000 €
Dominio web	-	-	29 €/año
Almacenamiento/hosting	-	-	100€/año

Aplicación móvil

Las aplicaciones móviles son útiles dado que hoy día la mayoría de los individuos tienen teléfonos móviles.

Tabla 14 Costes asociados al desarrollo de la aplicación móvil

Concepto	Horas	Precio por hora	Total
Desarrollo app	160	60 €	9600 €
Coste de mantenimiento	120	60 €	7200 €

Aplicación BI

Existen diferentes herramientas de BI (*business intelligence*) de visualización que se pueden utilizar para poner a disposición del usuario una solución.

Tabla 15 Costes asociados al desarrollo de la aplicación BI

Concepto	Horas	Precio por hora	Total
Herramienta BI	Mensual	10€-70€	Depende del número de usuarios
Coste desarrollo	160 h (un mes)	60 €	9600 €
Coste mantenimiento	120	60 €	7200 €

Tabla 16 Ventajas e inconvenientes de los tipos de herramientas de visualización

Herramienta de visualización	Ventajas	Inconvenientes
Aplicación web	<ul style="list-style-type: none"> • Escalable a muchos usuarios: con el aumento de números de usuarios se puede incrementar la infraestructura si se monta en un entorno <i>cloud</i>. • Se puede embeber a otras aplicaciones ya existentes como la del ayuntamiento: en caso de que se tenga que integrar con otras aplicaciones se puede hacer de forma moderadamente sencilla dado que se montaría sobre Docker y se podría quitar el código e incorporarlo a otras aplicaciones. • Son responsive (disponible en dispositivos móviles): muchas aplicaciones que se construyen hoy día no se entienden fuera del paradigma responsive, esto es, aplicaciones que se adaptan en las distintas pantallas de los distintos dispositivos. • Flexibles: una aplicación web tiene la ventaja que se puede crear a imagen y semejanza de los diseñadores, eso es, los distintos lenguajes de programación y marcos de desarrollo permiten una amplitud de opciones a la hora de desarrollar el proyecto. • Permite mayor número de funcionalidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste de desarrollo: el hecho de necesitar mano de obra especializada hace que el coste de desarrollo sea extremadamente elevado. • Tiempo de desarrollo: cuando se desarrolla una aplicación web, generalmente, se itera en las distintas fases del proyecto de cara a llegar al estado final deseado del producto satisfactorio tanto al negocio como a los desarrolladores.
Aplicación móvil	<ul style="list-style-type: none"> • Llega a la mayoría de los individuos: la mayoría de los individuos de la sociedad occidental tienen un teléfono móvil o similar de forma que muchos de ellos podrían descargarse la aplicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costes de desarrollo: el hecho de necesitar mano de obra especializada hace que el coste de desarrollo sea extremadamente elevado.

		<ul style="list-style-type: none"> • Algunos usuarios serán reticentes a instalarla: esto es porque conlleva un esfuerzo y recursos extra.
Aplicación BI	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo rápido: esto es una característica de las herramientas de BI por el hecho de que ya vienen construidas y con muchas librerías disponibles y listas para su uso. • Gran conjunto de datos: la especialidad de las herramientas BI hace que sean capaces de trabajar con almacenes de datos (<i>data warehouse</i>) capaces de almacenar grandes cantidades de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste de desarrollo: el hecho de necesitar mano de obra especializada hace que el coste de desarrollo sea extremadamente elevado. • Poco flexibles: al ser herramientas de desarrollo rápido y con muchas opciones preconfiguradas hace que en consecuencia sean menos flexibles dado que muchas de sus partes están encapsuladas y son no modificables.

Solución elegida

Se elige la alternativa del desarrollo de la aplicación web por los siguientes motivos:

- Es la más flexible de todas.
- Potencialmente es la que llegará a más usuarios dado que no se limita a un solo dispositivo, sino que es adaptable al dispositivo que está usando el usuario.
- Permite ser embebida en todo tipo de herramientas que requieran su integración.
- Es fácilmente escalable.
- Permite mayor número de funcionalidades.

4. Solución elegida

La solución elegida consiste en una instalación completa de una red de monitorización de IoT de parámetros de confort y elementos de control de luz y temperatura. Los elementos de la red son coordinados por una pasarela IoT que supervisa y coordina el funcionamiento, procesa los datos y instaure protocolos de seguridad de la red. El uso de una red propia completa permite estandarización de procesos que permiten asegurar estándares de calidad del dato necesarios para la inteligencia artificial.

Para la gestión de la red se ha decidido utilizar como proveedor de servicios Azure, debido a la alta gama de servicios *cloud* orientados a IoT, su facilidad de uso y configuración y al cumplimiento de los productos escogidos para las necesidades de la solución. Resultando, además, en un coste mensual intermedio comprado con otros proveedores como AWS o Google.

Para llevar a cabo el control de la temperatura e iluminación, será necesario por un lado modelar térmicamente el escenario de actuación, y por otro lado, desarrollar el algoritmo de IA basado en una *framework* de *Reinforcement Learning*, que permita dicho control. Como modelo de dinámica de calor se ha optado por los modelos de caja blanca, en concreto simuladores software energéticos que permitan una descripción más detallada de la geometría, con un mayor nivel de precisión. Como algoritmo para el control de la temperatura se ha decidido el algoritmo de Reinforcement Learning DQN (Deep Q-Network), por presentar un aprendizaje más estable cuando se cuenta con un conjunto de estados continuos y acciones discretas.

En la parte de herramientas se hará una aplicación web tanto para el uso de los turistas en la planta como para el sistema de recomendación. Esto es así dado que es escalable a muchos usuarios, es decir, con el aumento de números de usuarios se puede incrementar la infraestructura si se monta en un entorno *cloud*. También se puede embeber a otras aplicaciones ya existentes como la del ayuntamiento en caso de que se tuviera que integrar con otras aplicaciones se puede hacer de forma moderadamente sencilla dado que se montaría sobre Docker y se podría quitar el código e

incorporarlo a otras aplicaciones. Por otro lado, también es responsive (disponible en dispositivos móviles) dado que muchas aplicaciones que se construyen hoy día no se entienden fuera del paradigma responsive, esto es, aplicaciones que se adaptan en las distintas pantallas de los distintos dispositivos. Por último, nos otorga una gran flexibilidad porque una aplicación web tiene la ventaja que se puede crear a imagen y semejanza de los diseñadores, esto es, los distintos lenguajes de programación y marcos de desarrollo permiten una amplitud de opciones a la hora de desarrollar el proyecto, así como nos permite mayor número de funcionalidades.

5. Hitos y Gantt

Los hitos principales del proyecto se definen en la siguiente tabla:

Tabla 17 Hitos del proyecto

Nº Hito	Nombre hito	Verificación
H1	Análisis de requerimientos y arquitectura de la plataforma.	Casos de uso y requerimientos funcionales, definición de los escenarios de validación, arquitectura del sistema y componentes hardware y software de la plataforma Pagina web del proyecto y plan de difusión del proyecto.
H2	Desarrollo y evaluación del primer prototipo parcialmente integrado.	Desarrollo de los componentes técnicos del prototipo preliminar, incluyendo los módulos preliminares relacionados con el espacio de datos del edificio sostenible, algoritmos de IA para el análisis de datos y los servicios de visualización e interacción con el usuario. Prototipo preliminar integrado para su validación y su evaluación en los escenarios definidos. definición de las pruebas de campo y metodologías de evaluación.
H3	Implementación de las mejoras para la plataforma final.	Desarrollo de los componentes técnicos del prototipo final, incluyendo los módulos preliminares relacionados con el espacio de datos del edificio sostenible, algoritmos de IA para el análisis de datos y los servicios de visualización e interacción con el usuario.
H4	Validación final de la plataforma.	Prototipo totalmente integrado para su validación y su evaluación en los escenarios definidos. Realización de las pruebas de campo y evaluación del prototipo. Actividades de promoción y difusión. Plan de explotación y protección de resultados.

Para llevar a cabo estos hitos una primera aproximación a las tareas a realizar y sus tiempos de implementación se desarrolla el siguiente diagrama de Gantt:

Tabla 18 Diagrama de Gantt del desarrollo de las tareas

	Año 1												Año 2					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
ANALIZA - Requerimientos técnicos y escenarios de validación	█	█	█	█														
Adaptación del caso de uso y requerimientos funcionales	█	█																
Definición de los escenarios de validación			█	█														
DEFINE - Diseño de la arquitectura y componentes.			█	█	H1													
Diseño de la arquitectura IoT y planes de implantación			█	█	█													
Diseño arquitectura <i>cloud</i> del sistema e interfaces			█	█	█													
Conceptualización de la aplicación web			█	█	█													
CREA - implementación del espacio de datos del edificio						█	█	█	█	H2								
Creación arquitectura <i>cloud</i>						█	█	█	█	█								
Interconexión de la plataforma IoT									█	█								
INTERPRETA - tecnologías de IA para el análisis de datos									█	█	█	█	█	█	H3			
Desarrollo modelos de temperatura									█	█	█	█	█	█	█			
Desarrollo de modelos detección de personas									█	█	█	█	█	█	█			
Desarrollo modelos de iluminación													█	█	█			
VISUALIZA - Herramientas de visualización e interacción basadas en gemelos digitales													█	█	█	█	█	H4
Creación de la herramienta de visualización													█	█	█	█	█	█
Análisis y diseño para la prescripción de acciones de mantenimiento y optimización energética													█	█	█	█	█	█
Desarrollo del plan de turismo sostenible																█	█	█
INTEGRA - integración y validación						█	█	█	█	H2	█	█	█	█	█	█	█	H4
Implementación de la red IoT						█	█	█	█	█								
Metodología de evaluación y pruebas de campo											█	█	█	█	█			
Verificación e integración de prototipo													█	█	█	█	█	
Pruebas de campo y análisis de resultados															█	█	█	█

6. Entregables

Casos de uso, requerimientos y escenarios de validación:

- Documento explicativo de la solución con diagramas de desarrollo, descripción funcional y técnica documentada esperada del sistema.
- Definición de los diferentes escenarios de validación del proyecto.

Arquitectura general, componentes hardware y software de la plataforma:

- Definición de la arquitectura y despliegue de la plataforma.
- Identificación de las interfaces de comunicación entre los diferentes componentes de la arquitectura.
- Identificación y especificación de las características tecnológicas y funcionales de los componentes de la plataforma.

Prototipo preliminar, modelo de referencia de la arquitectura de gestión y almacenamiento de datos.

- Documentación asociada.
- *Data lake*.
- Módulo de ingesta IOT.
- Servicio de adquisición y provisión de datos.

Modelos de IA

- Desarrollo de modelos basados en ML y DL en gestión energética.
- Definición de los indicadores de gestión eficiente en consumo energético.

Visualización de datos

- Informe de resultados de la construcción del motor de recomendación de alternativas para los turistas.
- Prototipo de la aplicación web.
- Informe de los cuadros de mando interactivos.
- Prototipo de los cuadros de mando interactivos.
- Informe de los resultados de los nuevos diseños sostenible.

Aplicaciones

- Puesta en disposición de las aplicaciones web.

Metodología y pruebas para el plan de validación del primer prototipo parcialmente integrado:

- Metodología teórica para el análisis de usabilidad.
- Metodología de pruebas.
- Definición de las pruebas de campo en cada escenario
- Descripción de los contenidos seleccionados para la primera validación.
- Desarrollo de los cuestionarios para el primer prototipo parcialmente integrado.

Integración y validación del prototipo preliminar:

- Descripción del sistema central del sistema.
- Problemas durante la fase de integración.
- Descripción del *setup* físico.
- Definición de los perfiles de usuario que validarán el prototipo preliminar.
- Resultados de los cuestionarios.

7. Riesgos

El análisis de riesgos de proyecto se puede distribuir en dos grupos principales, los riesgos asociados al desarrollo y puesta en marcha del servicio y fallos asociados a el mantenimiento temprano de este.

Tanto riesgos asociados a mal funcionamiento o falta de stock de los dispositivos hardware, como las complicaciones surgidas a la hora de desarrollar los algoritmos de simulación y control se pueden mitigar alargando los plazos de entrega de estos. Debido a la paralelización de procesos, los retrasos de mediana duración pueden ser reajustados en el plan principal propuesto.

Por el contrario, el incumplimiento de los planes de servicio establecido representa una amenaza mayor. La poca penetración del servicio y la infraestimación del alcance de clientes debe ser respondido con una mayor utilización de recursos. En caso de que los elementos, tanto software como hardware, comprometan el funcionamiento del servicio, serán sustituidos.

Tabla 19 Descripción de riesgos, impacto y planes de contingencia

Alternativa	Descripción	Probabilidad (1-5)	Impacto (1-5)	Medidas propuestas
R01	Retrasos en la cadena de suministro de los dispositivos IoT.	4	1	El trabajo en paralelo de la solución <i>cloud</i> permite retrasos en la implementación de la red IoT.
R02	Vulnerabilidad en los dispositivos IoT.	3	4	Se efectúan comprobaciones de seguridad en la pasarela IoT, con medidas adicionales. En última instancia se cambian los dispositivos.
R03	Complicaciones técnicas en el modelado de distribución de calor.	2	5	Estudio más profundo de características del espacio trabajado y cambios en la tipología del modelo.
R04	Falta de un cliente inicial para prototipado.	3	3	Contratos a medida para los primeros clientes para penetrar en el mercado y establecer servicios de los prototipos a menor coste.
R05	Subestimación de la energía ahorrada por el cliente.	2	5	Desarrollo iterativo de actualizaciones de la IA para aumentar la efectividad. Estudios más profundos de los entornos trabajados.
R06	Funcionamiento inesperado de la nube (borrado de almacenamiento, cambio de condiciones de uso...)	1	3	Recuperación de datos de las copias de seguridad y estudio de servicios de nube para cambio de proveedor.
R07	Infrautilización de las herramientas de turismo sostenible	3	3	Aumento de recursos destinados a la publicitación de la herramienta. Desarrollo de planes de mejora de experiencia de usuario.

ANEXO A: Referencias

- Amara, F., Agbossou, K., Cardenas, A., Dubé, Y., & Kelouwani, S. (2015). Comparison and Simulation of Building Thermal Models for Effective Energy Management. *Smart Grid and Renewable Energy*,, págs. 95-112.
- AWS. (2022). *AWS IoT*. Obtenido de https://docs.aws.amazon.com/es_es/iot/latest/developerguide/what-is-aws-iot.html
- Azure. (2022). *Azure IoT Hub*. Obtenido de <https://azure.microsoft.com/es-es/products/iot-hub/>
- Bagheri, A., Feldheim, V., Thomas, D., & Ioakimidis, C. S. (2016). Coupling Building Thermal Network and Control System, the First Step to Smart Buildings. *IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. Trento, Italy: IEEE.
- Concha, R. D. (29 de 03 de 2019). *Azure: Internet de las cosas esencial*. Obtenido de https://es.linkedin.com/learning/azure-internet-de-las-cosas-esencial?trk=course_title&upsellOrderOrigin=default_guest_learning
- Google. (2022). *IoT Core Google*. Obtenido de <https://cloud.google.com/iot-core?hl=es-419>
- IoT Analytics. (17 de 02 de 2022). *The IoT cloud: Microsoft Azure vs. AWS vs. Google Cloud*. Obtenido de <https://iotbusinessnews.com/2022/02/17/30620-the-iot-cloud-microsoft-azure-vs-aws-vs-google-cloud/>
- Kim, E. (05 de 06 de 2020). *IoT Platforms comparison: Azure vs AWS vs GCP*. Obtenido de <https://medium.com/@yevkim/iot-platforms-comparison-azure-vs-aws-vs-gcp-5a8ebff84a78>
- Martins, J. (11 de Noviembre de 2022). Obtenido de <https://asana.com/es/resources/smart-goals>
- Molina, A. (s.f.). *6 mejores plataformas de gestión de dispositivos IoT*. Obtenido de <https://www.6mejores.com/6-mejores-plataformas-de-gestion-de-dispositivos-iot/>
- Technology Advice. (s.f.). *Google Cloud IoT Core Product Overview*. Obtenido de <https://technologyadvice.com/products/google-cloud-iot-core-reviews/>
- Wellnuts. (01 de 06 de 2022). *AWS IoT vs Azure IoT — Choose Your Best Solution*. Obtenido de https://www.linkedin.com/pulse/aws-iot-vs-azure-choose-your-best-solution-wellnutscg?trk=organization-update-content_share-article

ANEXO B: Modelo Canvas

Segmentos de clientes

El caso de uso está dirigido a todos aquellos clientes que tengan espacios públicos y por lo tanto tengan que estar manteniendo una temperatura e iluminación constantes para el flujo de personas que tienen. Podemos distinguir dos ramas de público objetivo:

- Administraciones públicas: Siendo la rama principal a la que va dirigido el caso de uso y lo podemos dividir en:
 - Museos
 - Estaciones de tren, metro, autobuses, Aeropuertos.
 - Medios de transporte como Metro, autobuses
 - Centros de educación como Universidades, colegios...
 - Edificios de la administración pública como ayuntamientos, ministerios...
- Sector privado: Inicialmente se ha pensado en los siguientes, pero puede ser ampliable a todos aquellos edificios que necesiten regular su temperatura luz y humedad:
 - Universidades y colegios privados.
 - Centros comerciales.
 - Oficinas de empresas
 - Otros edificios privados.

Propuesta de valor

Gracias a los sistemas inteligentes que se plantean en este caso de uso los edificios que lo implanten van a ver **reducido el consumo de energía** ya que lo van a tener optimizado evitando tener recursos destinados al control de la temperatura, iluminación y humedad lo que nos lleva a menos costes de mantenimiento y a una **disminución de la contaminación**.

Además, se busca también que las personas que se encuentren en el edificio **augmenten su confort** ya que se buscara que la temperatura y humedad tengan unos rangos óptimos y la intensidad de la luz sea la adecuada en cada momento y sala del edificio.

Canales

Para las herramientas inteligentes como va enfocado al personal que trabaja en los edificios donde se implanta, ciudadanos que les preocupe la sostenibilidad y turistas, se ha pensado como medio de comunicación:

- Directo:
 - Página web y Redes sociales: Para dar a conocer que se implantan estos sistemas inteligentes que ayudan al ahorro de energía.
 - Red de edificios: Para informar a trabajadores, turistas y ciudadanos.
- Indirecto
 - Redes de ventas de terceros: Para ampliar la implantación de este sistema inteligente fuera del ámbito público.

Para las herramientas enfocadas al turismo sostenible está enfocado a los turistas y se ha pensado como medio de comunicación:

- Directo:
 - Página web y redes sociales: De la entidad gestora del edificio.
 - Red de edificios: Para informar de la herramienta y puedan consultarlo.
 - Proyectos de promoción.
 - Oficinas de turismo.

- Indirecto:
 - Sitios web de terceros.
 - Medios de comunicación.

Relación con clientes

En función de la etapa de implantación del caso de uso se tiene varios tipos de relación con los clientes.

- Directa: En la implantación del servicio con la instalación del sistema y software de monitorización
- Automatizada: Las administraciones públicas y las empresas privadas con el software de monitorización.
- Una vez implantado los sistemas inteligentes y desarrollados las herramientas de turismo sostenible. Se busca que la relación personal sea mínima, reduciendo así los costes operativos.

El vínculo con los clientes es a largo plazo, se busca ir implantando ese sistema en toda la red de edificios que tenga el cliente además de su posterior mantenimiento y mejoras que puedan surgir.

Fuentes de ingresos

Se tendrían los siguientes ingresos explícitas:

- Ingresos por instalación del sistema al edificio.
- Ingresos por mantenimiento (constante)

Recursos clave

Dentro de los recursos para desarrollar el caso de uso necesitaremos:

- Recursos financieros

Capital suficiente para sufragar los gastos de los dispositivos OIT (sensores, cámaras...) y de instalación de estos mismos además de para la infraestructura en la nube para el desarrollo de las herramientas y modelos.

- Recursos humanos

Equipo de personas compuesto por *data-scientist* especializados en IA, *data engineers*, desarrolladores de *software* y especialistas en instalaciones de equipos IOT. Este equipo se encargará del:

- Desarrollo/simulaciones de la estancia
- Mantenimiento
- Desarrollo de las herramientas que se van a implantar.

- Recursos físicos

Serían los dispositivos IOT, así como el lugar de almacenamiento, equipos informáticos.

Actividades clave

Las actividades principales serían:

- Desarrollo de la IA para el control del bienestar
- Desarrollo de la IA para el consumo de energía
- Desarrollo de herramienta software de monitorización
- Desarrollo de herramienta para fomentar el turismo sostenible
- Instalación de sistemas IoT en edificios
- Servicios de mantenimiento y actualización

Socios clave

Los socios claves serian:

- Proveedores de unidades de procesamiento de gráficos (GPUs) para el entrenamiento de los algoritmos de IA
- Proveedores de sensores IoT.
- Desarrolladores de software

Estructura de costes

Costes fijos:

- Costes *cloud* (BBDD)
- Equipos informáticos

Costes variables:

- Equipo de desarrollo
- Sensores de temperatura, radiación solar, Cámaras.
- Suministros

ANEXO C: Arquitectura IoT

Para el dimensionamiento de la red IoT y su estimación de costes se toma una oficina con las siguientes características como punto de partida:

- Planta de oficinas de tamaño medio y concepto abierto con 400m² de planta y 2 salas de reuniones.
- La oficina cuenta con 2 parades llenas de ventanales hacia el exterior.
- El edificio cuenta con un sistema centralizado de calefacción, la oficina cuenta con 5 radiadores distribuidos por el espacio principal y 1 sistema eléctrico de aire acondicionado en cada sala de reuniones.
- El sistema de iluminación consiste en un foco de 1 bombillas por cada 5m²
- La oficina cuenta con un sistema de vigilancia de 3 cámaras centralizadas en el sistema de edificio.
- La oficina cuenta con un termostato general.
- La oficina cuenta con un contador de consumo eléctrico inteligente.

Los elementos que forman la red y su selección se describen de la siguiente manera:

- Pasarela IoT: se cuenta con un único elemento de pasarela conectado a la LAN de espacio monitorizado. El equipo seleccionado es un producto comercializado para usos industriales de alta fiabilidad con un MTBF de 830.000h, de bajo mantenimiento. La instalación de equipo requiere la sincronización de los elementos de la red y puesta en marcha de la conexión con la nube y servicios de procesamiento y seguridad de los datos.
- Monitorización de temperatura: en el caso de reutilizar el termostato disponible se utiliza un adaptador IoT, en caso de desplegar la red se instalan 3 sensores de temperatura y humedad en la planta. Además, se instala otro dispositivo en el exterior para complementar las mediciones de temperatura. Todos los dispositivos mencionados se comercializan para uso particular, por lo que se estima un tiempo de vida de 6 años e instalación y configuración rápida.
- Monitorización de radiación solar: debido a que una amplia mayoría de equipos de control de ambiente comerciales carecen de sensores de radiación solar, se instalan uno en cada fachada contigua al espacio monitorizado. Los sensores son de comercialización para uso particular y se estima 6 años de vida e instalación sencilla.
- Monitorización de personas: para la alternativa de reutilización de las cámaras se instala un adaptador de señal IoT a cada cámara del espacio vigilado de características de uso particular. En caso de instalar cámaras IoT específicas, se cuenta con equipos profesionales de mayor coste, pero tiempos medios de vida de 12 años. En ambos casos, el dispositivo contador de personas se instala en la entrada principal de calidad industrial.
- Control de luz: el espacio cuenta con 80 bombillas, se seleccionan unas LED regulables e inteligentes de uso comercial con un tiempo estimado de funcionamiento de 5 años de uso ininterrumpido, debido a que es una oficina se estima el doble de duración.
- Control de temperatura: los aparatos eléctricos se conectan a la pasarela directamente mediante protocolos Wifi, 4G o propios de IoT. Mientras que los 5 radiadores de la calefacción centralizada se controlan mediante la instalación de válvulas inteligentes de uso comercial.

En las siguientes tablas se desarrollan los costes asociados a los componentes, su expectativa de vida, instalación y mantenimiento:

Tabla 20 Costes de la instalación de la red IoT con reutilización de elementos

Dispositivo	Unidades	Coste de Adquisición [€/unidad]	Tiempo medio de vida [años]	Tiempo de instalación [h/unidad]	Coste de despliegue [€]	Mantenimiento [€/año]
Pasarela IoT	1	350 €	95	10	800,00 €	8,42 €
Adaptador de sensor de temperatura interior	1	30 €	6	3	165,00 €	27,50 €
Sensor contador de personas	1	90 €	12	2	180,00 €	15,00 €
Adaptador IoT de señal de cámaras	3	30 €	6	3	495,00 €	82,50 €
Sensor de temperatura exterior	1	30 €	6	3	165,00 €	27,50 €
Sensor de radiación solar	2	30 €	6	3	330,00 €	55,00 €
Bombillas inteligentes	80	15 €	10	0,17	1.800,00 €	180,00 €
Válvulas de radiador inteligentes	5	60 €	6	2	750,00 €	125,00 €
Total		2.150 €		2.535,00 €	4.685,00 €	520,92 €

Tabla 21 Costes de la instalación de la red IoT completa

Dispositivo	Unidades	Coste de Adquisición [€/unidad]	Tiempo medio de vida [años]	Tiempo de instalación [h/unidad]	Coste de despliegue [€]	Mantenimiento [€/año]
Pasarela IoT	1	350 €	95	10	800,00 €	8,42 €
Sensor de temperatura interior	4	30 €	6	2	480,00 €	80,00 €
Sensor contador de personas	1	90 €	12	2	180,00 €	15,00 €
Cámaras IoT	4	100 €	12	3	940,00 €	78,33 €
Sensor de temperatura exterior	1	30 €	6	3	165,00 €	27,50 €
Sensor de radiación solar	2	30 €	6	3	330,00 €	55,00 €
Bombillas inteligentes	80	15 €	10	0,17	1.800,00 €	180,00 €
Válvulas de radiador inteligentes	5	60 €	6	2	750,00 €	125,00 €
Total		2.550 €		2.895,00 €	5.445,00 €	569,25 €

ANEXO D: Plataformas de gestión en la nube

Entre las principales características ofrecidas por los proveedores de servicios IoT se encuentran (Wellnuts, 2022):

- La gestión de dispositivos: registrar y controlar dispositivos, realizando comprobaciones de estado, seguimientos y almacenamiento de atributos.
- Conectividad: conexión entre la nube y dispositivos conectados, enviando y recibiendo datos y garantizando un acceso remoto ininterrumpido.
- Recopilación de datos: recopilación y procesamiento de datos de los dispositivos, proporcionado paneles analíticos.
- Gestión de la configuración: controlable y disponible constantemente.
- Integraciones: integraciones de terceros.

AWS IoT

- AWS IoT proporciona servicios en la nube, los cuales conectan los dispositivos IoT a otros dispositivos y a servicios en la nube de AWS (consultar (AWS, 2022)).

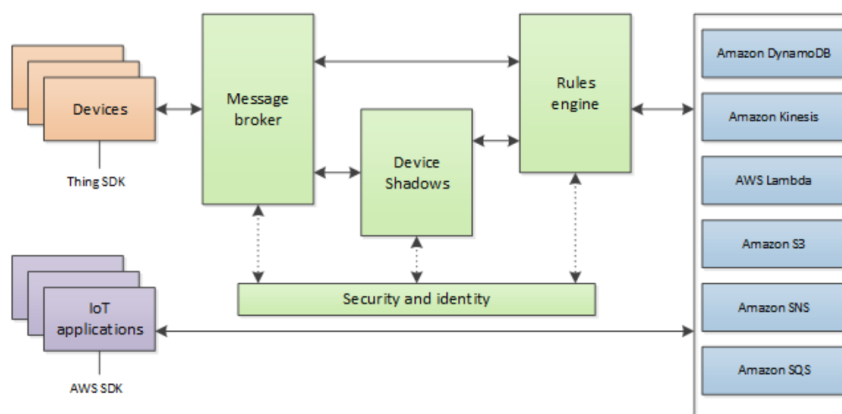


Figura 2: Arquitectura de la plataforma AWS IoT. Fuente: LinkedIn²

- Los componentes principales de la plataforma IoT de AWS propuesta para el desarrollo se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22: Componentes de la plataforma IoT de AWS.

AWS	
Software de dispositivos	FreeRTOS, Amazon IoT GreenGrass
IoT Hub	AWS IoT Core
Procesado de eventos	AWS IoT Events
Notificaciones	AWS SNS
Análisis de datos	AWS IoT Analytics
Almacenamiento	AWS S3
Seguridad	AWS IoT Device Defender

- AWS IoT Core: parte principal de la suite de AWS IoT, la cual administra la autenticación, la conexión y la comunicación de los dispositivos.
- FreeRTOS: sistema operativo de código abierto en tiempo real para microcontroladores.
- AWS IoT GreenGrass: servicios de control para crear, implementar y gestionar software de dispositivos.

² Imagen extraída del [artículo](#) de LinkedIn

- AWS IoT Events: permite detectar y responder ante eventos provenientes de aplicaciones y sensores IoT.
- AWS SNS: servicio de notificación.
- AWS IoT Analytics: servicio para el análisis de datos de IoT.
- AWS S3 (Simple Storage Service): servicio de almacenamiento.
- AWS IoT Device Defender: verifica continuamente las configuraciones de IoT con respecto a los requisitos de seguridad y envía alertas cuando detecta brechas.

Como se puede ver en la Figura 3, se conectan los dispositivos con AWS IoT Greengrass. AWS IoT Core autentifica los mensajes de los dispositivos inteligentes y encamina esos mensajes a los microservicios de la solución. AWS IoT Analytics se utiliza para analizar datos de dispositivos inteligentes, mientras que AWS IoT Device Defender revisa los dispositivos para asegurarse de que cumplen con las normas de seguridad.

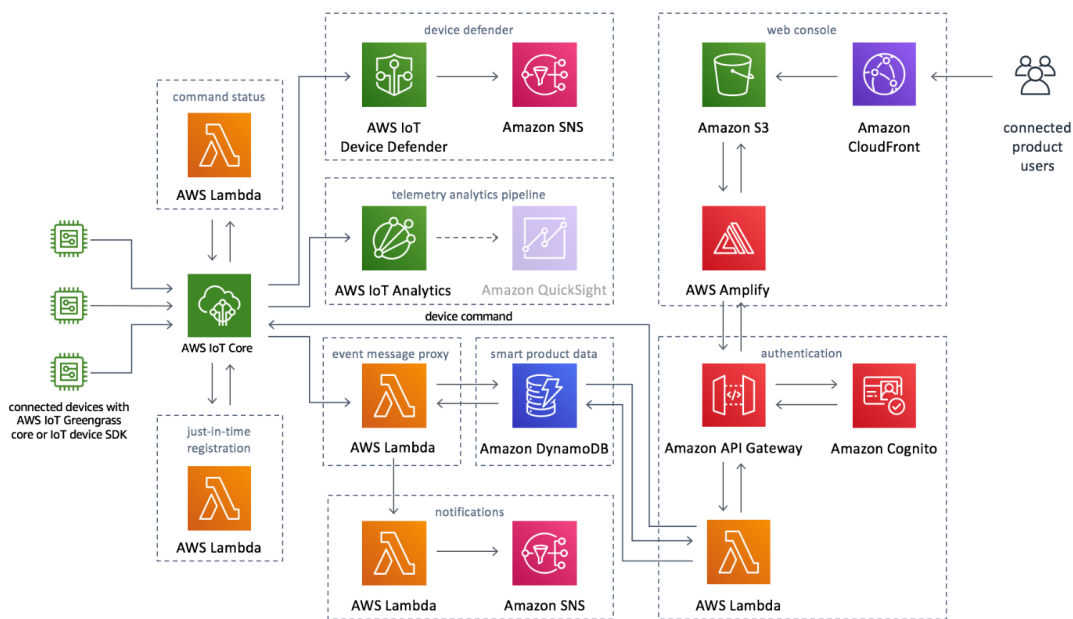


Figura 3: Infraestructura tecnológica con AWS. Fuente: AWS³.

Precios: modelo “pago por lo que se usa”. Se aplican diferentes precios según la región o zona y además las diferentes partes se facturan por separado; por ejemplo, conectividad a IoT Core, mensajería, dispositivos *shadow* (almacenamiento de estado del dispositivo), registro (almacenamiento de metadatos del dispositivo) o motor de reglas (mensaje transformación y enrutamiento).

Tabla 23: Precios de AWS IoT Core.

Resumen de precios para Región: Europa (Londrés) [1 USD = 0.9618 EUR]							
Conectividad		Mensajes		Dispositivos shadow y registro		Motor de reglas	
Por millón de minutos de conexión	Hasta mil millones de mensajes	Por millón de operaciones	Más de 5 mil millones de mensajes	Por millón de operaciones		Reglas iniciadas (por millón de reglas activadas/por millón de acciones aplicadas)	Acciones aplicadas (por millón de reglas activadas/por millón de acciones aplicadas)
0,096\$	1,20\$	0,96\$	0,84\$	1,50\$		0,18\$	0,18\$

³ Imagen extraída del [artículo](#) de AWS

Tabla 24: Precios de AWS IoT para gestión Edge computing.

Resumen de precios para Región: Europa (Londrés) [1 USD = 0.9618 EUR]									
FreeRTOS	Amazon IoT GreenGrass		AWS IoT Events				AWS SNS	AWS IoT Device Defender	
	1 a 10.000 dispositivos	Más de 10.000 dispositivos	Al mes					Transferencia entrante de datos	Por mes, por dispositivo auditado
			Primeras 100 millones de evaluaciones de mensajes	Siguientes 400 millones de evaluaciones de mensajes	Siguientes 4.500 millones de evaluaciones de mensajes	Más de 5.000 millones de evaluaciones de mensajes	Hasta 100.000 dispositivos		Más de 100.000 dispositivos
Gratis	0,18 USD por mes	Necesario contactar	18,00 USD por 1 millón de evaluaciones de mensajes	12,00 USD por 1 millón de evaluaciones de mensajes	6,00 USD por 1 millón de evaluaciones de mensajes	3,60 USD por 1 millón de evaluaciones de mensajes	Gratis	0,00132 USD	0,0012 USD

Tabla 25: Precios de AWS IoT Analytics.

Resumen de precios para Región: Europa (Fráncfort) [1 USD = 0.9618 EUR]			
Procesamiento de datos	Almacenamiento de datos	Ejecución de la consulta	Ejecución de análisis personalizado
Por GB de datos procesados	Por GB de datos procesados almacenados por mes	Por TB de datos escaneados	Por ACU-hora, facturados por segundo
0,20 USD	0,03 USD	6,50 USD	0,36 USD

Tabla 26: Precios de AWS S3 Standard.

Resumen de precios para Región: Europa (España) [1 USD = 0.9618 EUR]		
S3 Standard		
Primeros 50 TB/mes	Siguientes 450 TB/mes	Más de 500 TB/mes
0,023 USD por GB	0,022 USD por GB	0,021 USD por GB

Azure IoT

- Azure IoT Hub proporciona un *back-end* de solución hospedado en la nube para conectar una multitud de dispositivos (Azure, 2022).

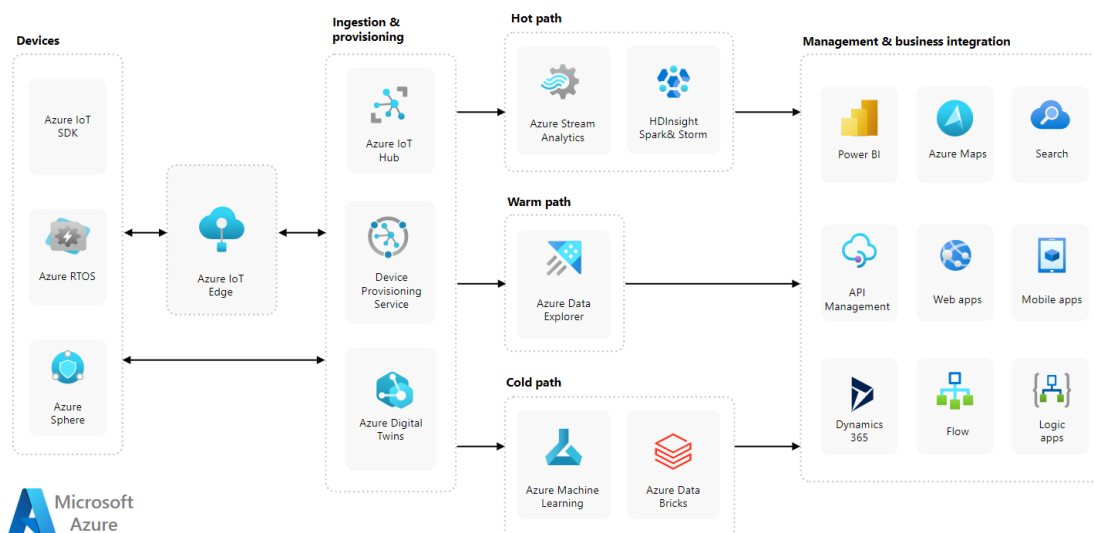


Figura 4: Infraestructura tecnológica con Azure IoT. Fuente: Microsoft Azure⁴.

⁴ Imagen extraída del artículo de Microsoft Azure

- Los componentes principales de la plataforma IoT de AWS propuesta para el desarrollo se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27: Componentes de la plataforma IoT de Azure.

Azure	
Software de dispositivos	Azure IoT Edge
IoT Hub	Azure IoT Hub
Procesado de eventos	Azure Event Hub, Azure Stream Analytics
Notificaciones	Azure Monitor
Análisis de datos	Azure ML
Almacenamiento	Azure Blob Storage
Seguridad	Security Center

- Azure IoT Hub: parte central de los servicios de Microsoft Azure para establecer la comunicación entre los dispositivos IoT y las aplicaciones IoT (Concha, 2019).
- Azure IoT Edge: servicio para el análisis de los datos en los dispositivos.
- Azure Event Hub: servicio de ingesta de datos en tiempo real.
- Azure Stream Analytics: plataforma de procesamiento de eventos para examinar datos.
- Azure Monitor: servicio para supervisión del rendimiento y la disponibilidad para aplicaciones y servicios.
- Azure ML: servicio para el análisis de datos de IoT, que permite entrenar e implementar modelos de Machine Learning y la administración MLOps.
- Azure Blob Storage: servicio de almacenamiento.
- Security Center: servicio para la monitorización de la seguridad, previniendo, detectando y respondiendo a posibles amenazas.

La Figura 5 muestra la arquitectura de referencia. En primer lugar, los datos se transmiten a dispositivos periféricos que ejecutan Azure IoT Edge, para después transmitirse a IoT Hub, que ingiere los datos en la nube y los envía a los servicios industriales. Azure Event Hub se usa para transformar y distribuir los datos a otros servicios, como Stream Analytics.

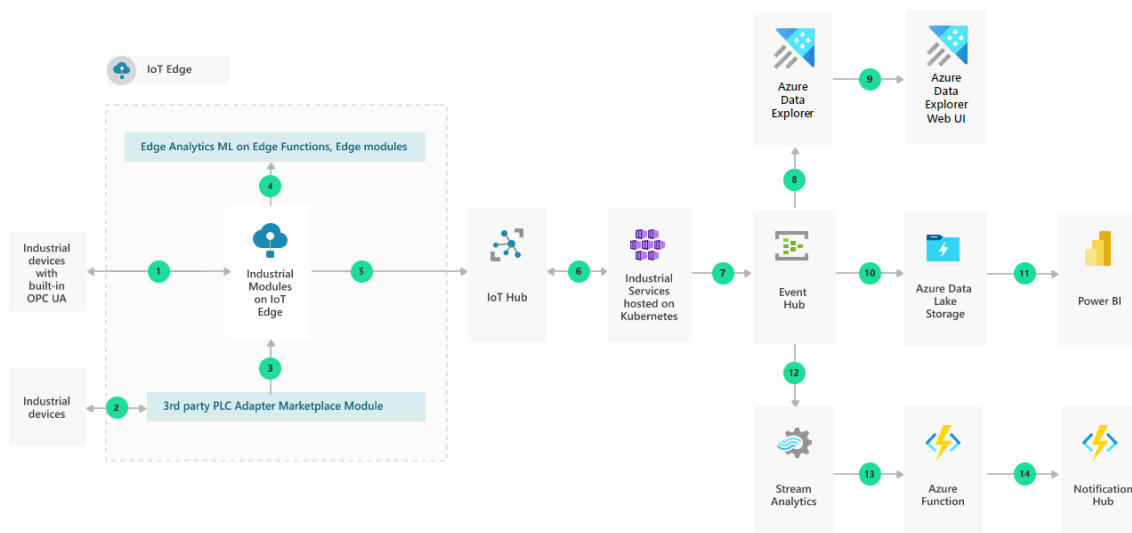


Figura 5: Arquitectura de referencia para IoT industrial con Azure. Fuente: Microsoft Azure⁵.

⁵ Imagen extraída del [artículo](#) de Microsoft Azure

- Precios: Azure IoT Hub cuenta con una edición gratuita que permite a los usuarios registrar hasta 500 dispositivos y enviar hasta 8.000 mensajes al día. Los planes de pago tienen los niveles *Basic* y *Standard*. En el nivel *Standard* está habilitado para soluciones que requieren una comunicación bidireccional, mientras que el *Basic* solo permite un subconjunto de características y para una comunicación unidireccional desde los dispositivos a la nube.

Tabla 28: Precios de Azure IoT Hub.

Resumen de precios para Región: Sur de Reino Unido				
Nivel	Tipo de edición	Precio por unidad de IoT Hub (al mes)	Número total de mensajes al día por unidad de IoT Hub	Tamaño del medidor de mensajes
Basic	B1	9,618€	400.000	4 KB
Basic	B2	48,089€	6.000.000	4 KB
Basic	B3	480,885€	300.000.000	4 KB
Standard	Gratis	Gratis	8.000	0,5 KB
Standard	S1	24,045€	400.000	4 KB
Standard	S2	240,443€	6.000.000	4 KB
Standard	S3	2.404,425€	300.000.000	4 KB

Tabla 29: Precios de otros servicios de Azure Cloud.

Resumen de precios para Región: Sur de Reino Unido				
Unidades de streaming	Azure Monitor	Azure ML	Azure Blob Storage, acceso frecuente	Security Center
	Pago por uso	NC6 v3: 6 vCPU, 112 GiB RAM, 1X V100 GPU	Primer 50 TB (TB)/mes	Plan 1 de Microsoft Defender para servidores
0,106€/hora con un mínimo de 1 SU	2,770€ por GB	3,452€/hora	0,18082€/GB	4,719€/servidor/mes

Resumen de precios para Región: Sur de Reino Unido			
Event Hubs			
Capacidad		Eventos de entrada	
Basic	Estándar	Basic	Estándar
0,015€/hora por unidad de procesamiento ⁶	0,029€/hora por unidad de procesamiento	0,027€ eventos por millón	0,027€ eventos por millón

Google Cloud IoT

- Google Cloud ofrece soluciones para el uso de dispositivos IoT desde servicios de mensajería perimetral, administración de dispositivos, estadísticas y la capacidad de generar estadísticas mediante inteligencia artificial (Google, 2022).
- Los componentes principales de la plataforma IoT de Google propuesta para el desarrollo se muestran en la Tabla 27.

⁶ La unidad de procesamiento proporciona 1 MB/s de entrada y 2 MB/s de salida.

Tabla 30: Componentes de la plataforma IoT de Google.

Google	
Software de dispositivos	Cloud IoT Edge
IoT Hub	Cloud IoT Core
Procesado de eventos	Cloud Pub/Sub
Notificaciones	Firebase Cloud Messaging
Análisis de datos	DataFlow
Almacenamiento	Cloud Storage
Seguridad	Cloud Security Command Center

- Cloud IoT Core: plataforma principal de Google para conectar, administrar y transferir datos desde dispositivos.
- Cloud IoT Edge: servicio para el análisis de los datos en los dispositivos.
- Cloud Pub/Sub: servicio de mensajería.
- Cloud Monitoring: plataforma para monitorizar el estado de las aplicaciones y la infraestructura.
- DataFlow: servicio de analíticas de *streaming*.
- Cloud Storage: servicio de almacenamiento.
- Cloud Security Command Center: plataforma de gestión de riesgos y seguridad.

La Figura 6 muestra la infraestructura general para IoT. Los dispositivos envían mensajes a través de IoT Core, que actúa como un puente entre ellos y los servicios en la nube. Estos mensajes se procesan como eventos en el administrador de flujo de eventos Cloud Pub/Sub, lo que activa una función en la nube para su ejecución. Cloud Dataflow se utiliza para transformar y filtrar los datos entrantes, y almacenarlos temporalmente en Cloud Pub/Sub. Luego, se transfieren los datos al almacenamiento y a la sección de análisis.

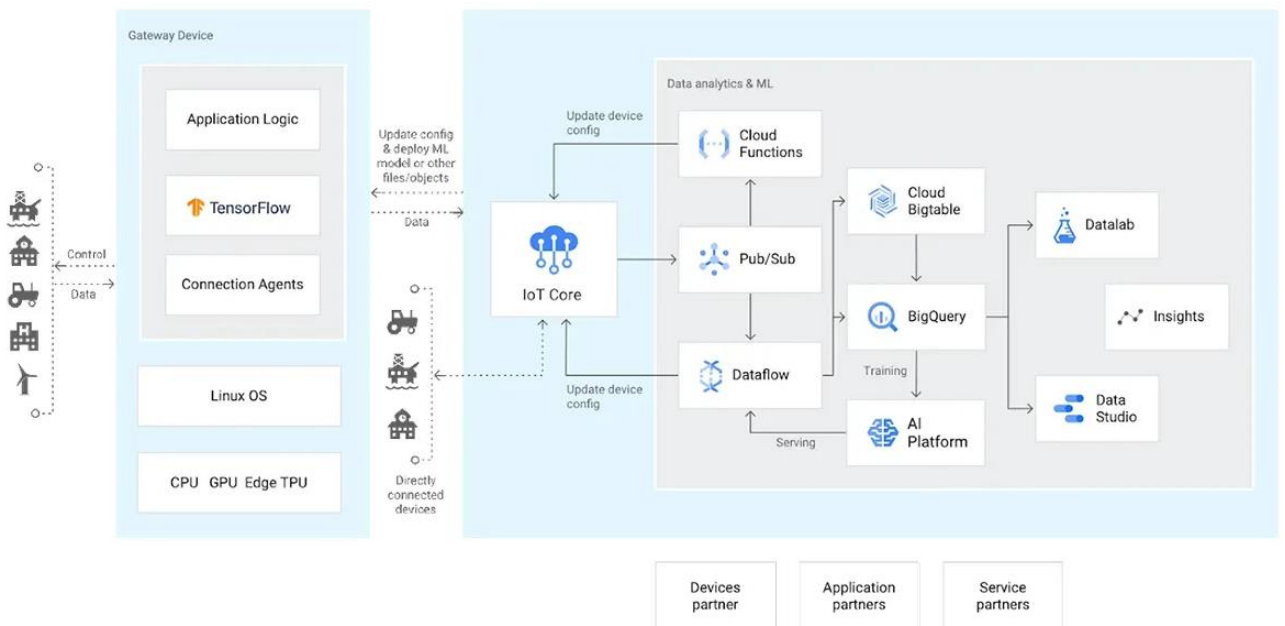


Figura 6: Infraestructura tecnológica con Google Cloud IoT. Fuente: IoT Business News⁷

- Precios: Los precios se basan en los datos intercambiados entre IoT Core y los dispositivos, es concreto sobre el volumen de datos utilizados en un mes y no hay cargo por crear, leer, actualizar o eliminar dispositivos.

⁷ Imagen extraída del [artículo](#) de IoT Business News

Tabla 31: Precios de Google Cloud IoT Core.

Resumen de precios			
Volumen de datos	Precio por MB	Dispositivos registrados	Cargo mínimo
Hasta 250 MB	0,00 \$	Ilimitados, dentro de las cantidades máximas de consultas por segundo	1024 bytes
De 250 MB a 250 GB	0,0045 \$	Ilimitados, dentro de las cantidades máximas de consultas por segundo	1024 bytes
De 250 GB a 5 TB	0,0020 \$	Ilimitados, dentro de las cantidades máximas de consultas por segundo	1024 bytes
5 TB y más	0,00045 \$	Ilimitados, dentro de las cantidades máximas de consultas por segundo	1024 bytes

Tabla 32: Precios de Google Pub/Sub, Cloud DataFlow y Cloud Storage.

Resumen de precios para Bélgica (europe-west1)				
Pub/Sub		Dataflow		Cloud Storage
Capacidad de procesamiento, por unidad de capacidad por hora	Almacenamiento, por GiB al mes por zona	Procesamiento de Dataflow (por DPU por hora), streaming	Memoria (por GB, por hora), streaming	Almacenamiento estándar (por GB al mes)
0.007 USD	0.045USD	0,09 USD	0.004172USD	0,020 USD

Resumen componentes de las plataformas IoT

Tabla 33: Resumen componentes principales de las plataformas IoT de AWS, Azure y Google.

	AWS	Azure	Google
Software de dispositivos	FreeRTOS, Amazon IoT GreenGrass	Azure IoT Edge	Cloud IoT Edge
IoT Hub	AWS IoT Core	Azure IoT Hub	Cloud IoT Core
Procesado de eventos	AWS IoT Events	Azure Event Hub, Azure Stream Analytics	Cloud Pub/Sub
Notificaciones	AWS SNS	Azure Monitor	Firebase Cloud Messaging
Análisis de datos	AWS IoT Analytics	Azure ML	DataFlow
Almacenamiento	AWS S3	Azure Blob Storage	Cloud Storage
Seguridad	AWS IoT Device Defender	Security Center	Cloud Security Command Center

Comparación costes plataformas

1.000 dispositivos conectados que mantiene una conexión constante durante 30 días. Cada día, cada dispositivo envía 288 mensajes (un mensaje cada 5 min) de 1 KB de tamaño y generan 10 MB de datos al mes a analizar.

- **AWS IoT**

Para la región de Europa-Londres. Además de los 288 mensajes enviados por dispositivo cada día, 50 iniciaron una actualización de dispositivos *shadow* y 200 iniciaron una regla que aplica una acción.

AWS IoT Core

- Costes de conectividad
 - Minutos de conexión = 1.000 conexiones * 60 min/h * 24 h/día * 30 días = 43.200.000 min de conexión

- Costes de conectividad= 43.200.000 min de conexión * 0,096\$/1.000.000 min de conexión = 4,1472\$
 - Costes mensajería
 - Mensajes = 1.000 dispositivos * 288 mensajes/dispositivo-día * 30 días = 8.640.000 mensajes
 - Costes de mensajería = 8.640.000 mensajes * 1,20 \$/1.000.000 mensajes = 10,368\$
 - Costes de dispositivos *shadow* y de registro
 - Solicitudes de dispositivos *shadow* = 1.000 dispositivos * 50 solicitudes/dispositivo-día * 30 días = 1.500.000 solicitudes
 - El tamaño de la sombra del dispositivo es inferior a 1 KB, por lo que se redondea al KB más cercano (1 KB)
 - Costes de dispositivos *shadow* = 1.500.000 solicitudes * 1,5\$/1.000.000 operaciones = 2,25\$
 - Costes del motor de reglas
 - Reglas iniciadas = 1.000 dispositivos * 200 reglas iniciadas / dispositivo-día * 30 días = 6.000.000 reglas iniciadas
 - Acciones aplicadas = 6.000.000 reglas iniciadas * 1 acción ejecutada/regla iniciada = 6.000.000 acciones aplicadas
 - Costes reglas iniciadas = 6.000.000 reglas iniciadas * 0,18\$/1.000.000 reglas iniciadas = 1,08\$
 - Costes acciones aplicadas = 6.000.000 acciones aplicadas * 0,18\$/1.000.000 \$= 1,08\$
 - Costes totales del motor de reglas = 1,08\$ + 1,08\$ = 2,16\$
 - **Costes totales AWS IoT Core = 4,15\$ + 10,37\$ + 2,25\$ + 2,16\$ = 18,93\$/mes**

FreeRTOS

- Gratuito

Amazon IoT GreenGrass

Un dispositivo Edge Gateway.

- **Coste de AWS IoT Greengrass = 1 dispositivo activo Greengrass * 0,18\$/mes * 1 mes = 0,18\$/mes**

AWS IoT Events

Cada dispositivo manda un mensaje cada 5 minutos.

- Número de mensajes por dispositivos = 1mensaje/5 minutos * 60 minutos/hora * 24 horas/día * 30 días = 8.640 mensajes/dispositivo-mes
- Total de mensajes evaluados= 1.000 dispositivos * 8.640 mensajes/dispositivo-mes = 8.640.000 mensajes evaluados
- **Costes por evaluación de mensajes = 8.640.000 mensajes evaluados * 18,00\$/1.000.000 evaluaciones = 155,52 \$/mes**

AWS SNS

- Gratuito

AWS IoT Analytics

- Datos procesados en una canalización por mes (MB) = 1.000 dispositivos x 10 MB por dispositivo por mes = 10.000 MB por mes
- Datos procesados en una canalización por mes (GB) = 10.000 MB por mes ÷ 1024 MB por GB = 9,8 GB por mes
- Costes canalizaciones = 9,8 GB por mes x 0,20 \$ por GB = 1,96 \$/mes
- Datos almacenados = 9,8 GB de datos procesados = 9,8 GB

- Costes almacenamiento datos procesados = 9,8 GB por mes x 0,03 \$por GB = 0,29 \$/mes
- **Costes totales IoT Analytics = 1,96 \$ + 0,29 \$ = 2,25\$/mes**

AWS S3

- Datos almacenamos sin procesar = 9,8 GB de datos sin procesar = 9,8 GB
- Tarifa por GB por mes = Precios de S3 = 0,023 \$ por GB por mes
- **Costes totales AWS S3= 9,8 GB por mes x 0,023 \$ por GB = 0,225 \$/mes**

AWS IoT Device Defender

- **Costes totales IoT Device Defender = 1.000 dispositivos x 0,00132\$ por dispositivo por mes = 1,32 \$/mes**

COSTES MENSUALES TOTALES AWS = 18,93\$ + 0 + 0,18\$ + 155,52\$ + 0 + 2,25\$ + 0,225 \$ + 1.32\$ = 281,34\$ ≈270,60€

- **Azure IoT**

Para la región del Sur de Reino Unido.

Azure IoT Hub

Número de mensajes al día = 1.000 dispositivos * 288 mensajes/dispositivo-día = 288.000 mensajes/ día.

- **Nivel Basic**
 - **Costes totales nivel Basic B1 = 9,618€/mes**
- **Nivel Standard**
 - **Costes totales nivel Standard S1= 24,045€/mes**

Azure IoT Edge

- Gratuito

Azure Event Hub

Datos procesados = 1.000 * 1 mensaje/5 min*1min/60 s * 1 KB/mensaje ≈ 3,34 KB/s ≈ 0,0034 MB/s

- **Nivel Basic**
 - Costes capacidad = 0,0034 MB/s * 0,015€/hora/ MB/s * 24 horas*30 días + 0,0034 MB/s / 2 * 0,015€/hora / MB/s * 24horas*30 días = 0,05508 €
 - Costes eventos de entrada = 1000 * 0,027€/1.000.000 = 0,000027 €
 - **Costes totales nivel Basic = 0,05508 € + 0,000027 € ≈ 0,06 €**
- **Nivel Standard**
 - Costes capacidad = 0,0034 MB/s * 0,029€/hora / MB/s * 24*30 + 0,0017MB/s * 0,029€/hora / MB/s * 24 horas*30 días ≈ 0,11€
 - Costes eventos de entrada = 1000 * 0,027€/1.000.000 = 0,000027 €
 - **Costes totales nivel Standard = 0,11€ + 0,000027 € ≈ 0,11€**

Azure Stream Analytics

1 unidad Standard *streaming* 720 horas

- **Costes totales Azure Stream Analytics= 1 * 0,106€/hora * 720 horas= 76,32€/mes**

Azure Monitor

- Datos procesados = 1.000 dispositivos x 10 MB por dispositivo por mes = 10.000 MB por mes
- Datos procesados (GB) = 10.000 MB por mes ÷ 1024 MB por GB = 9.8 GB por mes
- **Costes totales = 9.8 GB *2,770€ por GB = 27,146€/mes**

Azure ML

Durante 24 horas.

- Datos procesados (GB) = 10.000 MB por mes ÷ 1024 MB por GB = 9.8 GB por mes
- **Costes totales** = 3,452€/hora *24 horas = **82,848€/mes**

Azure Blob Storage

- Datos almacenamos = 9,8 GB de datos sin procesar = 9,8 GB
- Tarifa por GB por mes = Precios de Blob Storage = 0,18082€ por GB por mes
- **Costes totales Blob Storage**= 9,8 GB por mes x 0,18082€ por GB = **1,772 €/mes**

Security Center

- **Costes totales Security Center**= **4,719 €/servidor/mes**

COSTES MENSUALES TOTALES AZURE BASIC= 9,618€ + 0 +0,06 €+ 76,32€ + 27,146€ + 82,848€+1,772€ + 4,719€ = **202,49€/mes**

COSTES MENSUALES TOTALES AZURE Standard = 24,045€ + 0 +0,11€+ 76,32€ + 27,146€+ + 82,848€+1,772€ + 4,719€ = **216,96€/mes**

• Google IoT

Cloud IoT Core

- Número de mensajes al día = 1.000 dispositivos * 288 mensajes/dispositivo-día = 288.000 mensajes/ día
- Volumen de datos = 288.000 mensajes/ día * 30 días * 1 KB (mensaje) = 8.640.000 KB = 8.640 MB = 8.64 GB
- **Costes totales Cloud IoT Core** = 8640 MB * 0,0045 \$/MB = **38,88\$/mes**

Cloud IoT Edge

- Gratuito

Cloud Pub/Sub

- Rendimiento máximo de publicación: 16 MiBps
- Unidades de capacidad necesarias para que el rendimiento de la publicación sea 16
- Rendimiento máximo de suscripción = 16 MiBps
- Unidades de capacidad necesarias para que el rendimiento de la suscripción sea 8
- Unidades de capacidad totales necesarias = 16 + 8 = 24
- **Costes totales Pub/Sub** = 24 * 0.007 \$ *24 *30 = **120,96 \$/mes**

Firestore Cloud Messaging

- Gratuito

DataFlow

- Datos procesados por mes (MB) = 1.000 dispositivos x 10 MB por dispositivo por mes = 10 000 MB por mes
- Datos procesados por mes (GB) = 10.000 MB por mes ÷ 1024 MB por GB = 9.8 GB por mes
- Costes = 9,8 GB por mes x 0.090\$ por GB = 0,882 \$/mes
- Datos almacenados = 9,8 GB de datos procesados = 9,8 GB
- Costes almacenamiento datos procesados = 9,8 GB por mes x 0.004172\$ por GB = 0,04 \$/mes
- **Costes totales DataFlow** = 0,882 \$ + 0,04 \$ = **0,922\$**

Cloud Storage

- Datos almacenamos = 9,8 GB de datos sin procesar = 9,8 GB
- Tarifa por GB por mes = Precios de Cloud Storage = 0,020\$ por GB por mes
- **Costes totales Cloud Storage** = 9,8 GB por mes x 0,020\$por GB = **0,196 \$/mes**

Cloud Security Command Center

- Gratuito

COSTES MENSUALES TOTALES GOOGLE = 38,88\$ + 0 + 120,96 \$ + 0 + 0,922\$ + 0,196\$ = 160,96\$ ≈ 154,81€

ANEXO E: Tipos de sistemas de regulación y control lumínica

Implementar sistemas de control en la instalación de iluminación puede reducir los costes energéticos y de mantenimiento, y aumentar la flexibilidad del sistema. Esto se puede lograr mediante el encendido y apagado selectivo y la regulación de las luminarias en función del tipo de actividad y período de actividad. Estos sistemas pueden funcionar con detectores de movimiento y presencia, células de nivel de luz natural, calendarios y horarios preestablecidos, y pueden ahorrar hasta un 65% de energía en algunas instalaciones.

Se distinguen 4 tipos fundamentales:

1. Regulación y control bajo demanda del usuario por interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia.
2. Regulación de la iluminación artificial según aporte de luz natural por ventanas, cristaleras, lucernarios o claraboyas.
3. Control del encendido y apagado según presencia en la sala.
4. Regulación y control por un sistema centralizado de gestión.

Nuestro caso de uso se centra en el último punto.

Regulación y control por un sistema centralizado de gestión

El control centralizado de la iluminación en edificios múltiples puede ser beneficioso porque permite:

- Posibilidad de encendido/apagado de zonas mediante órdenes centrales, bien sea manuales o automáticas (control horario).
- Modificación de circuitos de encendido a nivel central sin obras eléctricas.
- Monitorización de estado de los circuitos y consumos de estos.

Se recomiendan las siguientes reglas genéricas de conmutación, que son aplicables a cualquier tipo de sistema de control:

- Cada oficina o zona, por separado debe tener sus propios interruptores de control.
- En grandes espacios, las zonas de trabajo deben agruparse y el alumbrado de cada grupo conmutarse independientemente.
- Cada grupo debe ser conmutable en al menos dos etapas del 50% cada una y distribuido uniformemente sobre toda el área.
- Las zonas de tareas que precisen niveles mayores de iluminación, como por ejemplo mesas de dibujo deben tener circuitos de alumbrado independientes.
- Las luminarias adyacentes al plano de ventanas deben conectarse en grupos conmutados separadamente.

Equipos de control y modulación para una iluminación eficiente

La iluminación (en prestaciones, mantenimiento y reducción de consumo) que genera el alumbrado LED con respecto a otras tecnologías como la halógena o la fluorescente dispone de una característica adicional muy importante, un amplio control de los dispositivos lumínicos. Esta particularidad nos permite, de una parte, reducir el consumo en lugares donde no es siempre necesario el empleo de la potencia lumínica en su totalidad (100%); y de otra el apagado en las zonas con intermitencia de uso.

En este caso describiremos el funcionamiento de dos protocolos de control y sus características técnicas: El protocolo 1-10V y el estándar DALI.

- Protocolo 1-10V

El protocolo 1-10V es un sistema de control de iluminación que utiliza una señal analógica para regular la intensidad lumínica de un dispositivo LED. La señal se envía a través de un cable que va desde el controlador hasta el dispositivo LED, y varía en un rango de 1 voltio a 10 voltios. Esto permite controlar la intensidad lumínica del LED de forma continua, en lugar de tener que encender o apagar el dispositivo completamente.

- Protocolo DALI

El protocolo DALI es una interfaz de comunicación digital utilizada en sistemas de iluminación para controlar la iluminación de manera direccionable. Se basa en una red formada por un sensor, un controlador y una o más luminarias, cada una de las cuales tiene una dirección estática. El protocolo DALI es bidireccional, lo que permite que la información fluya tanto desde el controlador hasta las luminarias como al revés, lo que permite conocer diversos datos como el nivel actual de iluminación o funcionamientos de dispositivos incorrectos. La red DALI se conecta en paralelo a través de dos hilos y puede utilizar una manguera de 5 hilos para llevar la alimentación, la tierra y el control DALI a todas las luminarias. La longitud máxima de cableado es de 300 metros y se pueden programar hasta 16 zonas independientes a través de software. Al elegir un protocolo de control de iluminación es importante analizar cada caso particular para ahorrar energía.

- Diferencias entre protocolos

El protocolo 1-10V es un sistema de control de iluminación con menos opciones de control, pero con un costo de inversión más bajo. Se utiliza en aplicaciones que no requieren una gestión integral del alumbrado. Por otro lado, el protocolo DALI es más adecuado para aplicaciones que sí necesitan una gestión integral del alumbrado, ya que permite un control más amplio de los dispositivos y reduce los costos de mantenimiento. Una de las principales ventajas de trabajar con el protocolo DALI es que permite planificar una instalación o sistema de iluminación de manera más conceptual y flexible, ya que permite modificar fácilmente grupos o escenas sin tener grandes implicaciones a nivel operativo.

Modelos de ML

Existen muchos tipos diferentes de modelos de machine learning que se pueden utilizar en dispositivos IoT de regulación de luz, dependiendo de la tarea específica que se quiera realizar. Algunos tipos de modelos de machine learning comunes que podrían ser útiles en este contexto incluyen:

- Regresión: Los modelos de regresión se utilizan para predecir un valor numérico a partir de un conjunto de datos de entrada. Por ejemplo, podrías utilizar un modelo de regresión para predecir el ahorro de energía que se obtendría al ajustar la configuración del sistema de iluminación en un edificio.

- **Clasificación:** Los modelos de clasificación se utilizan para predecir a qué clase o categoría pertenece un elemento dado a partir de un conjunto de datos de entrada. Por ejemplo, podrías utilizar un modelo de clasificación para predecir si la luz debiera estar encendida o apagada en un edificio en un momento dado.
- **Redes neuronales:** Las redes neuronales son modelos que se inspiran en el funcionamiento del cerebro humano y se utilizan a menudo para realizar tareas de clasificación y regresión. Podrías utilizar una red neuronal para predecir el ahorro de energía que se obtendría al ajustar la configuración del sistema de iluminación en un edificio o para predecir si la luz debiera estar encendida o apagada en un momento dado.
- **Máquinas de soporte vectorial:** Las máquinas de soporte vectorial (SVM) son modelos de clasificación que buscan separar diferentes categorías de datos mediante un hiperplano en un espacio de características. Podrías utilizar una SVM para clasificar si la luz debiera estar encendida o apagada en un edificio en función de factores como el tiempo del día, la ocupación del edificio y la luz natural disponible.
- **Árboles de decisión:** Los árboles de decisión son modelos que se utilizan a menudo para tomar decisiones. Un árbol de decisión consiste en un conjunto de nodos y ramas que representan diferentes opciones y decisiones. Podrías utilizar un árbol de decisión para tomar decisiones sobre el encendido y apagado de la luz en un edificio en función de factores como el tiempo del día, la ocupación del edificio y la luz natural disponible.

Protocolo de control de iluminación	Ventajas	Inconvenientes
1-10V	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de instalar y utilizar. Utiliza un cable único para transmitir señales de control y alimentación a los dispositivos de iluminación. • Compatible con una amplia variedad de dispositivos de iluminación. • Asequible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca precisión de control en la intensidad de la luz. • Escalabilidad difícil al utilizar solo una sola señal para controlar la intensidad de la luz. • Menos versátil, solo ofrece control de intensidad lumínica.
DALI	<ul style="list-style-type: none"> • Permite un control preciso de la iluminación. • Pensado para ser escalado. Utilizar una red de dispositivos para controlar la iluminación, lo que lo hace ideal para sistemas grandes y complejos. • Mayor versatilidad. Permite controlar más parámetros de luz como la intensidad, el color y la temperatura del color. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere la instalación de una red de dispositivos y la configuración de un sistema de control centralizado. • Mayor coste de adquisición y mantenimiento • Menor selección de dispositivos comerciales compatibles.

ANEXO F: Rentabilidad y valoración de la inversión

Unificadas las opciones elegidas para el caso de uso, el coste de despliegue y mantenimiento del servicio el desarrollo de los costes se muestra de la siguiente manera:

Costes despliegues	
Infraestructura IoT	38400
Modelo	28800
web	28000
Total	95200

Coste Mantenimiento	
IoT	569,25
Nube	202,49
Modelo	800
Web	510,75
Total	2082,49

Para que el caso sea rentable se compara con la rentabilidad del bono español a un año como margen de beneficio, siendo este del 2,83% a 4 de enero de 2023. Por lo tanto, el beneficio por el despliegue en un edificio sumaría un total de 95.200€ y su mantenimiento en un año 2.751,37€. Considerando que la media de implantación por edificio es de dos meses se podría implantar en 6 edificios al año.

Tras Calcular la tasa interna de retorno con un total de 6 edificios y los flujos de caja anuales de 16.508,20€, la inversión inicial de al menos 95.200€ durante 10 años y la tasa de descuento del 2,83% da:

- TIR: 12%

La valoración actual neta de este caso de uso con los mismos parámetros es de:

- VAN: 45.566,37€