

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Integración MEC-IoT en el edificio
docente inteligente de la FIE.**

Autor: Carlos Raudel Marrero Cardoso.

Tutor: Dr.C. Félix Florentino Alvarez Paliza.

Santa Clara, Diciembre 2023
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

Electronics and Telecommunications department

Thesis degree

**Title: MEC-IoT integration in the FIE
intelligent teaching building.**

Author: Carlos Raudel Marrero Cardoso

**Thesis director: Dr.C. Félix Florentino Alvarez
Paliza.**

Santa Clara, Diciembre 2023
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419



ACTA DE CONFORMIDAD PARA ESTUDIANTES DE PREGRADO

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Por una parte: **Carlos Raudel Marrero Cardoso** estudiante de la carrera de: **Telecomunicaciones y Electrónica** en la facultad de: **Ingeniería Eléctrica** en lo adelante **EL ESTUDIANTE**. Con número de identidad permanente: **00070274645** o pasaporte: _____ . Y por otra parte **Rafael Alejandro Olivera Solís** Jefe del Departamento Docente de: **Electrónica y Telecomunicaciones** en la ya mencionada facultad, en lo adelante **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**, y **Félix Florentino Alvares Paliza** profesor(es) encargado(s) de tutorar el Trabajo de Diploma **DEL ESTUDIANTE**, en lo adelante **EL TUTOR**.

Reconocen que:

- I. A **EL ESTUDIANTE** se le ha aprobado como tema de investigación para su Trabajo de Diploma el titulado **Integración MEC-IoT en el edificio docente inteligente de la FIE.**
- II. **EL ESTUDIANTE** no divulgará información concerniente a la investigación, tanto durante el desarrollo como tras la culminación de esta sin la debida autorización **DEL TUTOR** o **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**.
- III. Que el Trabajo de Diploma fruto de la labor investigativa de **EL ESTUDIANTE** y la asesoría de **EL TUTOR**, resulta de **TITULARIDAD EXCLUSIVA** de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- IV. **EL ESTUDIANTE** una vez aprobada su tesis para la defensa, depositará una copia electrónica de la misma en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- V. A partir de la defensa y aprobación del Trabajo de Diploma, la publicación total, parcial o la elaboración de cualquier obra que se derive de esta investigación por parte de **EL ESTUDIANTE**, contará con la coautoría de **EL TUTOR** y viceversa, resultando de referencia obligada esta obra en cualquier otra que se elabore. El incumplimiento de esta cláusula, puede llevar consigo el inicio de procesos de plagio. Todo lo anterior de acuerdo a la normativa de Derecho de Autor vigente en Cuba.

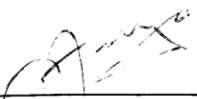
Y para que así conste se firma la presente en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, a los **11** días del mes de **diciembre** de **2023**.



EL ESTUDIANTE



JEFE DE DEPARTAMENTO



TUTOR



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Telecomunicaciones y Electrónica autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Dpto

Donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico- Técnico

PENSAMIENTO.

Sé firme en tus actitudes y perseverante en tu ideal. Pero sé paciente, no pretendiendo que todo te llegue de inmediato. Haz tiempo para todo, y todo lo que es tuyo, vendrá a tus manos en el momento oportuno.

Mahatma Gandhi.

DEDICATORIA.

A mi familia, que han estado ahí para mí en los momentos buenos y en los malos.

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres Raudel y Gladys, por educarme y amarme.

A mi hermana Eileen por su amor y comprensión.

A mis abuelas Gladys, Obdulia y a mi tío Juan Manuel.

A mis compañeros de cuarto Leinier, Marcos, Arlean, Cristian, Rafael y Roilan por su apoyo incondicional durante la carrera.

A mi tutor por su atención y su experiencia aportada para la realización de este trabajo.

Y a todas las personas que han creído en mí.

Resumen.

La evolución tecnológica ha dado lugar a la creación de sistemas IoT, conectando dispositivos físicos a través de Internet para recopilar y compartir datos en diversas aplicaciones. Históricamente, el procesamiento y análisis de datos IoT se realizaba en la nube, generando problemas de latencia, seguridad y eficiencia de red. Para superar estas limitaciones, ha surgido el concepto de MEC, que propone llevar el procesamiento y almacenamiento hacia el borde de la red, más cercano a los dispositivos IoT. Al integrar MEC con IoT, se busca mejorar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas IoT. Ubicar recursos computacionales en los nodos de acceso o estaciones base permite un procesamiento más rápido y oportuno de los datos IoT, facilitando aplicaciones de tiempo real y mejorando la experiencia del usuario. Esta integración ofrece beneficios como menor latencia, mayor privacidad y seguridad, eficiencia mejorada de la red, y capacidad de escalar los sistemas IoT de manera eficiente. El objetivo de este trabajo es analizar el desarrollo de las tecnologías MEC, su integración con IoT, evaluar propuestas de plataformas IoT-MEC, evaluar soluciones de almacenamiento en el borde de la red y soluciones de procesamiento de la información para nodos IoT, así como simular y evaluar diferentes servicios y aplicaciones utilizando plataformas MEC. Este estudio permite comprender las capacidades y beneficios de la integración MEC-IoT en el contexto de un edificio docente, ofreciendo información valiosa para la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas y eficientes.

Palabras Claves: Edificio inteligente, plataforma, MEC, IoT, simulación.

Siglarlo.

AR Aumented Reality (Realidad Aumentada)

DNS Domain Name System (Sistemas de dominio de nombre)

ETSI European Telecommunications Standards Institute (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)

IoT Internet of Things (Internet de las Cosas)

IP Internet Protocol (Protocolo de Internet)

LTE Long Time Evolution (Evolución a Largo Plazo)

MEC Multi-access Edge Computing (La Computación de Borde de Multi acceso)

RAN Radio Access Network (Red de Acceso de Radio)

TI Tecnología de Información

TIC Tecnología de Información y Comunicación

VR Virtual Reality (Realidad Virtual)

5G Quinta Generación

ISG Industry Specification Group (Grupo de Especificación de la Industria)

CDN Content Delivery Network (Red de Entrega de Contenido)

MCC Mobile Cloud Computing (Computación en la Nube Móvil)

Índice

Introducción.....	1
1 Capítulo I. Tecnologías MEC–IoT.	1
1.1 Reseña general de Computación en los bordes de acceso múltiple (MEC).....	1
1.2 Principales características MEC.	2
1.3 Arquitectura MEC.....	4
1.4 Plataformas MEC.....	5
1.5 Integración MEC-IoT.	6
1.6 MEC y la 5G.	8
1.7 Estándares MEC.	9
1.8 Conclusiones Parciales.	10
2 CAPITULO II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.....	11
2.1 Plataformas IoT.....	11
2.1.1 Plataformas en la Nube.....	12
2.1.2 Plataformas de Código Abierto.	20
2.2 Criterios de selección de plataformas IoT.	28
2.3 Soluciones de almacenamiento.....	31
2.4 Soluciones de procesamiento.....	38
2.5 Conclusiones Parciales.	45
3 Capitulo III. Servicios y aplicaciones para un edificio inteligente.....	46
3.1 Descripción general de la red de la FIE.....	46
3.1.1 Video vigilancia y detección de presencia:	46
3.1.2 Control de la iluminación.	47
3.1.3 Detección de incendios.....	48

Conclusiones.....	50
Recomendaciones.	50
Referencias.	51
Anexos.....	55
Anexo 1. Beneficios de MEC e IoT para cada aplicación.....	55

Introducción.

Introducción.

En la era digital actual, el Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado la forma en que se interactúa con el entorno que nos rodea. Al mismo tiempo, la computación en el borde (MEC) ha emergido como una tecnología prometedora que permite procesar y almacenar datos en la proximidad de los usuarios y dispositivos finales. Estas dos tecnologías tienen un potencial significativo para transformar el entorno educativo, especialmente en edificios docentes inteligentes. Sin embargo, a pesar de sus ventajas individuales, aún existe una brecha en la integración de MEC con IoT en el contexto específico del edificio docente inteligente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE).

El objetivo fundamental de un edificio docente inteligente es optimizar la experiencia de aprendizaje al proporcionar un entorno educativo eficiente, seguro y conectado. La integración de MEC con IoT puede ofrecer numerosos beneficios en este contexto. Por un lado, MEC permite el procesamiento de datos en tiempo real y la toma de decisiones cercana al punto de generación de los datos, lo que reduce la latencia y mejora la eficiencia de las aplicaciones en tiempo real. Por otro lado, IoT facilita la conectividad y la interacción de dispositivos inteligentes, lo que permite recopilar datos en tiempo real sobre el entorno del edificio y los patrones de uso de los usuarios.

Sin embargo, a pesar del potencial evidente de estas tecnologías, hasta ahora no se ha desarrollado una plataforma que integre MEC con IoT específicamente para el edificio docente inteligente. Esta ausencia se traduce en una falta de aprovechamiento de las ventajas que estas tecnologías pueden ofrecer. No se cuenta con un sistema que permita la interconexión y el intercambio de datos entre los dispositivos IoT desplegados en el edificio y los recursos de computación en el borde. Además, la falta de una plataforma integrada dificulta la implementación de servicios y aplicaciones personalizadas que podrían mejorar aún más la experiencia de aprendizaje de los estudiantes y la eficiencia del personal docente.

Por lo tanto, el problema central de esta tesis radica en que **no se dispone de una plataforma que integre MEC con IoT para el edificio docente inteligente de la FIE**. Esta plataforma debe permitir la conexión, la comunicación y el intercambio de datos entre los dispositivos

Introducción.

IoT desplegados en el edificio y las capacidades de computación en el borde. Además, debe ser capaz de soportar el desarrollo e implementación de servicios y aplicaciones personalizadas que aprovechen al máximo las ventajas de MEC y IoT en el entorno educativo.

Abordar este problema no solo contribuye al avance de la investigación en el campo de los edificios docentes inteligentes, sino que también proporciona una base tecnológica sólida para mejorar la eficiencia, la seguridad y la conectividad en el entorno educativo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica. Al desarrollar una plataforma que integre MEC con IoT específicamente adaptada a las necesidades y características del edificio docente de la FIE, se podrán aprovechar al máximo las ventajas de estas tecnologías para ofrecer una experiencia de aprendizaje enriquecedora y optimizada tanto para profesores como para estudiantes.

En este contexto, el presente trabajo de investigación tiene como:

Objetivo General:

- Desarrollar una propuesta de plataforma MEC con IoT de servicios para el edificio docente inteligente de la FIE.

Objetivos Específicos:

- Analizar el desarrollo alcanzado por las tecnologías MEC y su integración con la IoT.
- Evaluar diferentes propuestas de plataformas IoT-MEC para un nodo IoT de un edificio docente inteligente y sostenible.
- Evaluar soluciones de almacenamiento híbrido de la información para el nodo IoT del edificio docente de la FIE.
- Evaluar soluciones de procesamiento de la información para el nodo IoT del edificio docente de la FIE.
- Simular y evaluar diferentes servicios y aplicaciones para un edificio inteligente sobre plataformas MEC.

Para lograrlo, el contenido de este proyecto se estructura de la siguiente manera:

Introducción.

La **Introducción** aborda los antecedentes que llevaron al mundo a crear MEC, así como su integración con IoT. En el **Capítulo I** se expone los principales antecedentes de la tecnología MEC, sus principales características, su arquitectura, que son las plataformas MEC, la integración MEC-IoT, se abordan temas de las redes de quinta generación (5G) y los estándares existentes. En el **Capítulo II** aborda sobre las principales plataformas IoT, cuales son los criterios para elegir cual es más óptima en función de su utilización, se dan a conocer soluciones de almacenamiento en el borde y también soluciones de procesamiento en el nodo IoT. En el **Capítulo III** se muestran varios ejemplos de servicios en un edificio inteligente utilizando la herramienta Packet Tracer de Cisco y se da una descripción de cada ejemplo.

1 Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

En este capítulo se realiza una búsqueda y evaluación del desarrollo alcanzado por las tecnologías MEC y su integración con la IoT.

1.1 Reseña general de Computación en los bordes de acceso múltiple (MEC)

La evolución de Internet en las últimas décadas ha sido evidentemente rápida y acelerada, pasando de unas pocas conexiones al inicio, a los miles de millones de dispositivos diferentes que envían y solicitan datos hacia y desde la red. Además del crecimiento en el número de conexiones, la conectividad de Internet se ha vuelto considerablemente diversa, incluyendo no solo computadoras y servidores personales tradicionales, sino también un conjunto muy variado de dispositivos con diferentes y muchas veces altos requisitos.

La Fig. 1.1. ilustra la evolución de Internet de las conexiones desde las redes punto a punto, al nuevo concepto llamado Internet táctil, que tiene como objetivo incluir sensaciones táctiles y hápticas en las telecomunicaciones, permitiendo que los humanos y las máquinas interactúen con su entorno en tiempo real.

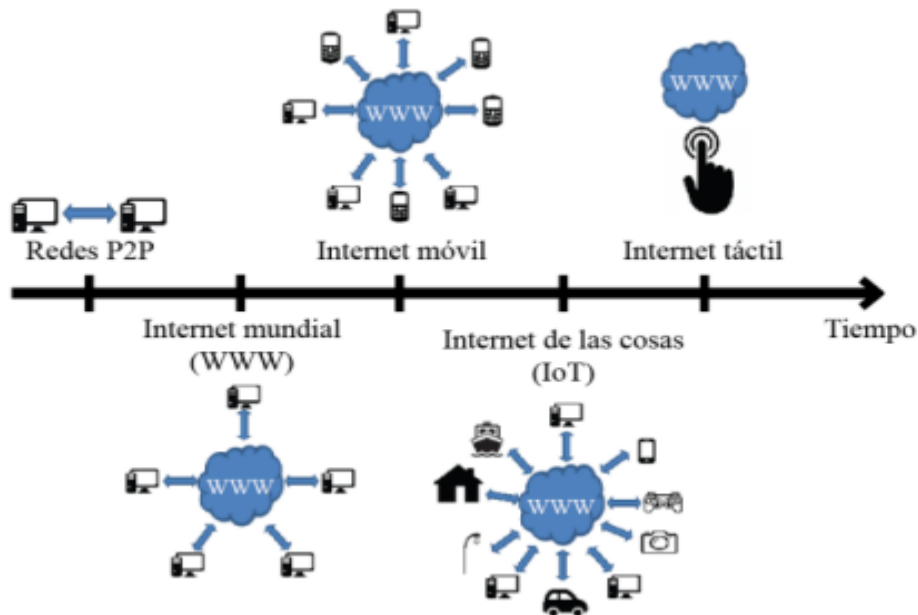


Fig. 1.1. Línea del tiempo de Internet.[1]

La mencionada evolución de las conexiones ha hecho posible la aparición y difusión de nuevas tecnologías y aplicaciones relacionadas con la Internet de las Cosas. La evolución de

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

IoT se ha visto impulsada con la aparición de tecnologías relacionadas con la quinta generación de comunicaciones móviles (5G) [1], lo que hace posible cumplir con nuevos requisitos como velocidades de datos más altas, latencia muy baja, permitir un número muy alto de dispositivos conectados y alta eficiencia espectral.

En 2015, el Grupo de Especificación de la Industria (ISG, por sus siglas: *Industry Specification Group*) del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*); introdujo el concepto de *Mobile Edge Computing* (MEC); destinado a transferir la mayoría de las funcionalidades de computación y almacenamiento de *Mobile Cloud Computing* (MCC) [2] al borde (edge) de las redes móviles (esto es, en servidores localizados en estaciones base). De esta manera, el retardo del sistema se reduce considerablemente en comparación con MCC, además, la congestión para la red de backhaul también disminuye ya que muchas peticiones pueden ser resueltas por los servidores MEC sin traspasar el borde.

1.2 Principales características MEC.

La computación local se caracteriza por ser los dispositivos finales los que realizan todas las operaciones requeridas por sí mismos, incluidas las tareas de computación y almacenamiento, sin delegar ninguna responsabilidad a fuentes externas de MEC o MCC. Se definen seis parámetros para evaluar y comparar las tres tecnologías: latencia, coste, disponibilidad, capacidad, flexibilidad y seguridad.

Latencia: En cuanto a la latencia, la computación local es el enfoque más conveniente, ya que todos los procesos se realizan dentro del mismo dispositivo. El problema de esta solución es que solo es factible si el equipo local cuenta con todos los requisitos de la aplicación en particular: capacidad de computación, capacidad de almacenamiento y autonomía energética. De lo contrario, es mejor utilizar MCC o MEC. Por otro lado, MCC ofrece generalmente un buen desempeño en términos de capacidades informáticas y energéticas, pero la latencia puede llegar a ser alta ya que los servidores en la nube pueden ubicarse a grandes distancias del usuario (cientos de kilómetros o incluso más). Finalmente, MEC se presenta como un punto intermedio, en el que existen servidores externos que dan soporte a los usuarios finales que lo necesitan, pero estos servidores no son dispositivos centralizados en algún centro de datos lejano, sino dispositivos más cercanos, generalmente en el borde de la red de acceso de

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

radio (RAN, Radio Access Network), por ejemplo, en estaciones base, proporcionando baja latencia y alto ancho de banda a las aplicaciones sin necesidad de que el usuario posea equipos costosos capaces de realizar todas las tareas requeridas.

Coste: En la computación local, los dispositivos finales deben poder realizar todas las tareas requeridas por sí mismos, lo que se traduce en la necesidad de un hardware más potente y, por lo tanto, mayores costes para el usuario. Este no es el caso de MCC y MEC, donde los servidores pueden ofrecer soporte a los dispositivos finales con una gran carga sin importantes inversiones en hardware por parte del usuario. Además, las tareas más pesadas suelen consumir grandes cantidades de energía, y muchas aplicaciones, como la instrumentación IoT, están muy limitadas por la batería.

Disponibilidad: Entendiendo la disponibilidad como la posibilidad de acceder a los recursos en cualquier momento, los tres enfoques ofrecen buenos resultados, pero dependiendo del punto de vista, la computación local podría ser mejor o peor, dado que, al poseer todos los recursos y tenerlos todos en un dispositivo local, siempre están disponibles, incluso cuando falla la conexión a internet o el servidor, pero por otro lado, si el dispositivo local es el que falla o falta, el usuario no podrá acceder a la información, lo que hace que MEC y MCC tengan una mejor disponibilidad.

Capacidad: En términos de capacidad o potencia computacional, en computación local tenemos valores muy bajos, a menos que el usuario final posea equipos muy sofisticados, lo cual no es tan frecuente, principalmente teniendo en cuenta que muchas aplicaciones modernas son sistemas IoT compuestos por una gran cantidad de pequeños sensores o actuadores sin capacidades informáticas destacadas.

Flexibilidad: En este contexto, se considera la flexibilidad como la capacidad del servicio para ser modificado sin importantes esfuerzos o inversiones. Cuando el servicio está basado en MEC, en caso de que los requisitos cambien en algún aspecto, o incluso si se convierte en un servicio completamente diferente, no es un problema reorganizar los recursos destinados a este servicio en el servidor MEC, e incluso es posible redistribuir la carga entre múltiples servidores en caso de que sea necesario.

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

1.3 Arquitectura MEC.

El concepto de una plataforma informática ubicada en el borde de la red móvil fue llevado a cabo por el ETSI MEC ISG [3], a partir de diciembre de 2014. El concepto principal de MEC es proporcionar almacenamiento, capacidad computacional y prestación de servicios en el borde de la red móvil, permitiendo segmentos comerciales verticales emergentes, aplicaciones y servicios para consumidores y clientes empresariales [4], [5].

La arquitectura de referencia MEC contiene entidades que se agrupan en dos niveles de borde móvil, a saber, niveles de host y de sistema, como se muestra en la Fig. 1.2 y se presentan brevemente a continuación:

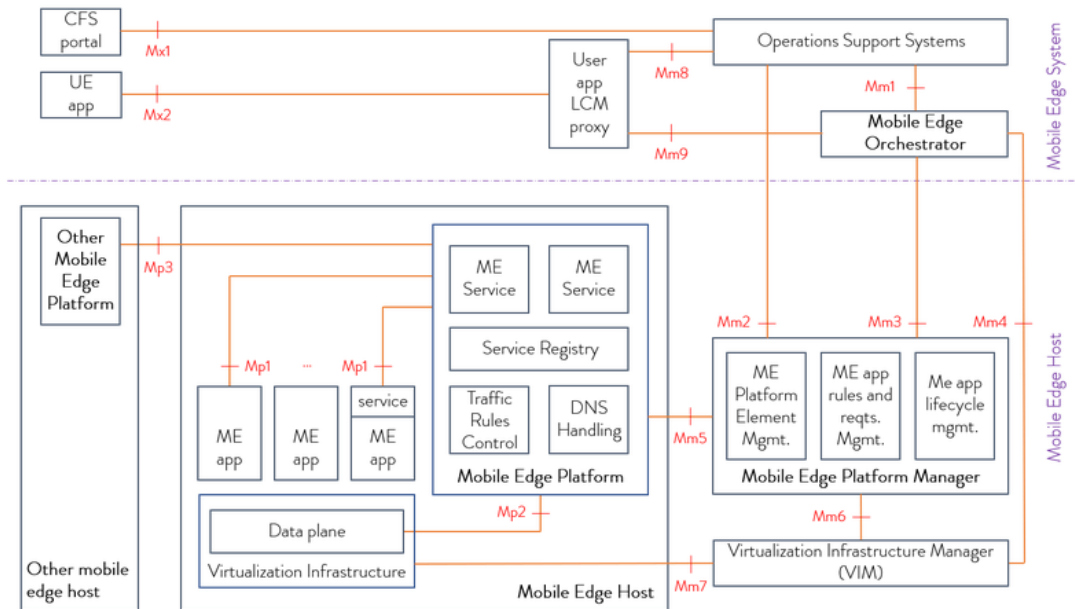


Fig. 1.2. Arquitectura MEC.[6]

Estación (Host) y red ME: La capa host está representada por el nivel medio de la arquitectura de referencia MEC [3]. Incluye las entidades de gestión ME Host y ME Host. El MEH comprende la plataforma ME, las aplicaciones y la infraestructura de virtualización (VI). El VI proporciona la infraestructura informática, de redes y de almacenamiento que se utiliza para alojar aplicaciones y servicios ME. La capa de red proporciona la conectividad entre las entidades internas y externas.

Plataforma MEC: El MEP admite el alojamiento de aplicaciones y servicios en infraestructura virtualizada y habilita aplicaciones ME como servicios. MEP también es

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

responsable de la instanciación y terminación de aplicaciones ME si lo solicita el administrador de la plataforma MEC (MEPM) [3].

Orquestador MEC: El MEO es una capa de gestión a nivel de sistema [3]; Incluye un administrador de plataforma y un VI Manager (VIM). Sus responsabilidades principales incluir el aprovisionamiento de aplicaciones y servicios utilizando los recursos ME VI, manteniendo información de recursos ME como topología, recursos y servicios MEH disponibles y comprobaciones de integridad y autenticidad para los paquetes de aplicaciones ME. El MEO también lleva a cabo la aplicación de políticas.

Sistema de soporte operativo: el OSS es responsable de otorgar acceso a las solicitudes de suscripción de los usuarios enviadas desde el Equipo de Usuario (UE) a través del Proxy de Gestión del Ciclo de Vida de la Aplicación del Usuario [3].

1.4 Plataformas MEC.

Las plataformas MEC son una arquitectura de red que permite llevar la computación y los servicios de TI (Tecnología de la Información) al borde de la red, cerca del cliente. En cuanto al contenido que se puede encontrar en ellas, puede variar dependiendo del propósito específico de cada una.

Las características de las plataformas MEC pueden variar dependiendo del contexto y el propósito específico de cada plataforma. A continuación, se mencionan algunas características que se han identificado:

- Proximidad: la MEC se encarga de llevar la computación del tráfico y los servicios desde una nube centralizada al borde de la red y más cerca del cliente [7].
- Latencia ultrabaja: la recopilación y el procesamiento de datos más cerca del cliente reduce la latencia y aporta rendimiento en tiempo real a las aplicaciones con gran consumo de ancho de banda [7].
- Alto ancho de banda: las aplicaciones en el borde requieren de un entorno con gran ancho de banda y baja latencia [7].
- Virtualización: la MEC ofrece capacidades de computación en la nube y un entorno de servicio de TI en el borde de la red [7].
- Integración: las plataformas MEC deben integrar toda la información de una forma estructurada y con una metodología [8].

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

- Seguimiento e informes: las plataformas MEC deben contar con herramientas que permitan acceder a métricas e informes detallados sobre el progreso de los alumnos durante los cursos [8].
- Evaluación automatizada: las plataformas MEC deben contar con herramientas que permitan la evaluación automatizada [8].
- Contenido en la nube: tener el contenido en la nube bajo un sistema de trabajo colaborativo, permite que los contenidos estén siempre actualizados y a disposición de los alumnos [8].

1.5 Integración MEC-IoT.

Sin lugar a dudas, los rápidos avances en IoT están ayudando a que la tecnología evolucione como una tecnología madura. Sin embargo, factores como el crecimiento simultáneo en el número de dispositivos IoT, la proliferación de los diversos tipos de aplicaciones IoT y la demanda de utilizar opciones de conectividad versátiles han dado lugar a diversos problemas como la escalabilidad, la movilidad y la latencia, consumo de energía, disponibilidad, seguridad y privacidad. En general, IoT aprovecha las instalaciones de computación en la nube, que pueden enfrentar varios desafíos, como el punto único de falla, la accesibilidad, la alta latencia de la red de área amplia (WAN) y la falta de conocimiento de la ubicación. En esta situación, MEC está preparado para desempeñar un papel de alivio proporcionando muchas ventajas mutuas[9], [10]. Desde el punto de vista de IoT, MEC proporciona recursos computacionales ubicados muy cerca de los dispositivos IoT, ofreciendo así numerosos beneficios, incluida la descarga de cálculos.

Desde la perspectiva de MEC, IoT (siendo el caso de uso generalizado de MEC) extiende los servicios de MEC a todo tipo de dispositivos, lo que permite una amplia adopción y evolución de MEC. Además, la infraestructura de la nube también se descarga.

MEC ofrece tres beneficios clave para IoT en la era 5G. El primer beneficio clave que ofrece MEC es el filtrado de tráfico. Esto se debe a que las solicitudes generadas por una multitud de aplicaciones de IoT se satisfacen por adelantado en el borde de la red, lo que impide el tráfico que, de otro modo, sería impulsado hacia la instalación en la nube. Por supuesto, este es el caso cuando los dispositivos de IoT no requieren servicios a nivel global (por ejemplo, capacidades de computación en la nube).

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

El segundo beneficio clave es que MEC facilita la toma de decisiones acelerada basada en los datos procesados localmente, lo que reduce el retraso de extremo a extremo (E2E). Esto es muy importante en las aplicaciones críticas de IoT (por ejemplo, cirugías remotas, redes inteligentes, vehículos autónomos y videoconferencias), que tienen demandas muy altas de confiabilidad, disponibilidad y baja latencia.

El tercer beneficio clave que ofrece MEC es una mayor escalabilidad y vida útil de los dispositivos IoT. El rápido aumento en el número de conexiones de IoT aumentaría proporcionalmente la carga de tráfico en la red y disminuiría la duración de la batería, pero gracias a MEC, es posible que el consumo de la batería no aumente ya que se requiere menos tiempo de transmisión entre el dispositivo de IoT y el servidor MEC. Además de estos tres beneficios clave, MEC ofrece algunos otros beneficios, como conocimiento del contexto, almacenamiento local y almacenamiento en caché, soporte para conectividad intermitente, movilidad (transferencia rápida de RAT), privacidad localizada y seguridad.

La combinación de IoT y MEC permite una amplia variedad de escenarios de aplicación en diferentes entornos. Algunos de estos escenarios son:

- **Análisis de vídeo:** la capacidad de procesar datos más cerca del dispositivo final permite mejorar la latencia y el rendimiento en escenarios de análisis de vídeo en tiempo real.
- **Robótica en tiempo real:** la robótica es un campo que se beneficia de la baja latencia y el alto rendimiento que ofrece MEC.
- **IoT mixtos a escala global:** la combinación de IoT y MEC permite la creación de soluciones de IoT a gran escala, con la capacidad de procesar grandes cantidades de datos en tiempo real.
- **Entornos rurales de baja densidad de población:** MEC puede ser utilizado en entornos rurales para mejorar la conectividad y la calidad de los servicios.
- **Automatización industrial:** la combinación de IoT y MEC permite la creación de soluciones de automatización industrial, como termostatos inteligentes.

Esta sección se centra en cómo IoT puede aprovechar la tecnología MEC en diversos escenarios de aplicación. El IoT en sí es un clásico aplicación de MEC donde la propuesta de

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

valor clave de MEC se ejemplifica en una variedad de escenarios de aplicación (Fig. 1.3). Estos valores se hacen evidentes en el factor de utilidad medido por la experiencia del usuario final al utilizar dichos servicios relacionados con IoT.

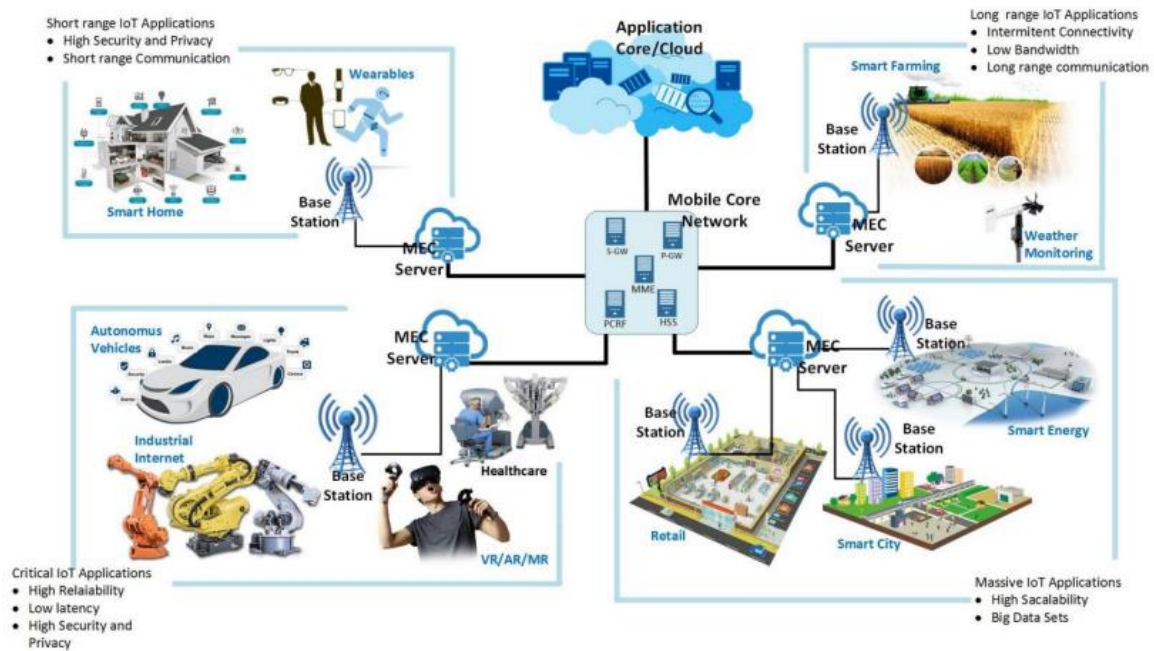


Fig. 1.3. Escenarios de aplicación de IoT y MEC.[9]

1.6 MEC y la 5G.

La tecnología 5G es la quinta generación de tecnología celular inalámbrica que ofrece mayores velocidades de carga y descarga, conexiones más consistentes y una capacidad mejorada que las redes anteriores. El 5G permitirá navegar hasta a 10 gigabytes por segundo, 10 veces más rápido que las principales ofertas de fibra óptica del mercado. Además, la tecnología 5G debería mejorar la conectividad en áreas rurales desatendidas y en ciudades donde la demanda puede superar la capacidad actual de la tecnología 4G. La tecnología 5G también permitirá la segmentación de la red, lo que implica un aumento de la confiabilidad y la asignación de segmentos de red a servicios específicos.

MEC tal como está desplegado actualmente en las redes LTE, se conecta al plano de usuario a través de una de las opciones descritas en el Libro Blanco del ETSI Despliegues de MEC en 4G y evolución hacia 5G. [11]. Dado que las redes LTE ya se habían implementado durante varios años, era necesario diseñar la solución MEC como complemento a una red 4G

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

para ofrecer servicios en el borde. En consecuencia, el sistema MEC, tal como se define en [12] y en las especificaciones de interfaz relacionadas, es en gran medida autónomo y cubre todo, desde la gestión y la orquestación hasta las interacciones con el plano de datos para dirigir flujos de tráfico específicos.

Con 5G, el punto de partida es diferente, ya que la informática de punta se identifica como una de las tecnologías clave necesarias para soportar una baja latencia junto con servicios de IoT futuros y de misión crítica. Esto fue considerado en los requisitos iniciales. El sistema fue diseñado desde el principio para brindar soporte eficiente y flexible para la informática de punta para permitir un rendimiento y una calidad de experiencia superiores.

Las redes 5G y su arquitectura aprovechan los paradigmas de la virtualización y de redes definidas por software. Las especificaciones del sistema 3GPP 5G definen los habilitadores para la computación de borde y permite que un sistema MEC y un sistema 5G interactúen de manera colaborativa en el enrutamiento del tráfico y el control de políticas.

5G traerá un sistema extremadamente flexible y programable capaz de combinar capacidades informáticas con tipos de comunicaciones de alta diversidad (es decir, humano y máquina). Con la implementación de 5G, la red resultante será más rápida e inteligente, lo que permitirá 18 mayores magnitudes de objetos conectados que consuman menos energía que en la actualidad; por lo tanto, la industria espera que 5G proporcione un marco de referencia unificado para Internet de las cosas. Como lo reconoce ETSI, MEC puede considerarse como una tecnología y un concepto arquitectónico clave para permitir la transformación hacia 5G [9].

En el contexto de la tecnología 5G, MEC se utiliza para reducir la latencia y mejorar el rendimiento en tiempo real de las aplicaciones con gran consumo de ancho de banda.

1.7 Estándares MEC.

Los estándares MEC se han establecido para el desarrollo y despliegue de esta arquitectura de red. A continuación, se presentan algunos de los estándares y especificaciones relacionados con MEC:

Capítulo I. Tecnologías MEC-IoT.

- ETSI MEC: un estándar desarrollado por el consorcio europeo de estándares para telecomunicaciones (ETSI) que define una arquitectura abierta para el cálculo en el borde móvil.
- 5GAA MEC: un estándar desarrollado por la Asociación de vehículos inteligentes de 5G (5GAA) que define una arquitectura para el cálculo en el borde basada en la tecnología 5G.
- MEC-IF: un estándar desarrollado por la Asociación de Telecomunicaciones (ATIS) que define una interfaz para comunicación entre aplicaciones MEC y el núcleo de la red móvil.
- O-RAN MEC: un estándar desarrollado por la Organización de Plataformas Abiertas y Recursos de Radio Abiertos (O-RAN) que define una arquitectura para el cálculo en el borde basada en una plataforma abierta de redes móviles.

1.8 Conclusiones Parciales.

Las tecnologías MEC han evolucionado para proporcionar capacidades de computación y almacenamiento en el borde de la red, lo que permite un procesamiento más eficiente y una reducción en la latencia en las aplicaciones IoT. La integración de MEC con IoT permite aprovechar al máximo las capacidades de ambas tecnologías, mejorando la eficiencia, la escalabilidad y la experiencia del usuario en entornos inteligentes. Estos avances demuestran el potencial y la importancia de la combinación de MEC e IoT en la implementación de soluciones innovadoras en diversos sectores, desde edificios inteligentes hasta ciudades inteligentes y aplicaciones industriales. A medida que estas tecnologías continúen evolucionando, se espera que sigan impulsando el desarrollo de soluciones inteligentes y conectadas que mejoren nuestra calidad de vida e impulsen la transformación digital en múltiples industrias.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

2 Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

En este capítulo se evalúan diferentes propuestas de plataformas IoT-MEC para un nodo IoT de un edificio docente inteligente y sostenible. También se toma en consideración las soluciones de almacenamiento híbrido de la información para el nodo IoT y de procesamiento de la información para el nodo IoT del edificio docente de la FIE.

2.1 Plataformas IoT.

Las Plataformas de Internet de las cosas (IoT) son a menudo designadas como middleware (software que conecta dos diferentes aplicaciones por separado) de IoT, o sea un software que permite conectar las máquinas, dispositivos, la adquisición, procesamiento, transformación, organización y almacenamiento de datos de los sensores. De forma más sintética otros la definen como el middleware y la infraestructura que permite a los usuarios finales interactuar con objetos inteligentes.

En general, una plataforma IoT es un middleware que proporciona todos los servicios y conectividad entre el hardware y las aplicaciones que necesitan acceso al hardware. Las plataformas IoT son necesarias para solucionar problemas de middleware, que es la llamada “fontanería” del IoT. Además, estas plataformas son clave para el desarrollo de aplicaciones, software y servicios para la interconexión de personas y dispositivos.

Las plataformas IoT proporcionan conectividad a varios dispositivos de hardware compatibles con IoT, como computadoras portátiles, móviles, dispositivos de fitness portátiles, sistemas de control industrial, unidades telemáticas automotrices, entre otros. Además de ser el elemento central en la arquitectura de Internet de las cosas que ayuda a conectar los mundos real y virtual para permitir la comunicación entre objetos, apoyar el desarrollo de aplicaciones, administrar los flujos de datos y proporcionar análisis básicos para dispositivos IoT conectados.

Las plataformas de IoT se han estudiado a lo largo de los años y se han identificado diferentes tipos, como las plataformas de dispositivo a dispositivo, las basadas en la nube y las de dispositivo a nube (también conocidas como plataformas empresariales). En el pasado, las plataformas de IoT solían estar basadas en la nube y se ofrecían como plataforma como servicio (PaaS), donde la comunicación con los dispositivos se realizaba mediante la

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

instalación de clientes ligeros para facilitar la conectividad a la plataforma central. Sin embargo, las plataformas de IoT actuales tienen capacidades y exigencias adicionales que generan nuevas y abundantes exigencias a los dispositivos.

2.1.1 Plataformas en la Nube.

Entre las plataformas IoT basadas en la nube más recomendadas están las siguientes:

- Thingworx 8 IoT Platform
- Microsoft Azure IoT Suite
- Google Cloud's IoT Platform
- IBM Watson IoT Platform
- AWS IoT Platform
- Kaa IoT Platform
- Oracle IoT Platform

IBM Watson IoT Platform.

IBM Watson proporciona conectividad, análisis, gestión de dispositivos y gestión de la información, además de ser un servicio totalmente gestionado y alojado en la nube que facilita la derivación de valor de los dispositivos IoT. IBM Watson emplea comunicación bidireccional con el usuario final y también utiliza servicios de cadenas de bloque (blockchain).

La plataforma IoT de IBM permite conectar sensores y dispositivos en la nube, también se pueden recolectar y brindar seguridad a los datos a partir del análisis y así obtener una visión en tiempo real para tomar decisiones oportunamente, también ayuda a construir y gestionar aplicaciones y soluciones IoT de forma rápida, segura y escalable [13].

Basta con que registre y conecte el dispositivo, ya sea un sensor, una pasarela u otro elemento, a Watson IoT Platform, y empiece a enviar los datos de forma segura a la nube mediante el protocolo de mensajes MQTT, ligero y abierto. Puede configurar y gestionar los dispositivos mediante el panel de control en línea o nuestras API seguras, de modo que las apps puedan acceder a los datos históricos y en tiempo real y utilizarlos[14].

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Google Cloud IoT (GCP).

GCP es una plataforma de Internet de las cosas basada en la nube, diseñada para ayudar a las organizaciones a capturar y analizar datos comerciales desde múltiples dispositivos y almacenarlos en un repositorio centralizado. Permite a los empleados predecir automáticamente los requisitos de mantenimiento de los equipos y optimizar su rendimiento en tiempo real[15]. Ofrece análisis de datos y aprendizaje automático mientras emplea Google Maps para rastrear las posiciones de los activos. GCP tiene clientes como PayPal y Bloomberg.

La plataforma de IoT de Google Cloud permite predecir automáticamente en qué momento los equipos necesitarán mantenimiento, optimizar su rendimiento en tiempo real, prever los tiempos de inactividad, detectar anomalías y hacer un seguimiento de las condiciones, el estado y la ubicación de los dispositivos. Hace un seguimiento de los recursos de valor en tiempo real, ejecuta análisis complejos y funciones de aprendizaje automático con los datos recopilados para brindar estadísticas empresariales prácticas. Administra la flota, haz un seguimiento del inventario, supervisa la integridad de las cargas y ejecuta otras funciones fundamentales para el negocio con la solución de logística de Google Cloud IoT. Compila una solución integral que incluya miles de millones de sensores y dispositivos perimetrales para proporcionar nuevos niveles de inteligencia y automatización a casas, edificios o ciudades enteras.

GCP es una plataforma escalable, segura y flexible que se adapta a las necesidades de cualquier empresa. A continuación, se presentan algunas de las ventajas de Google Cloud Platform[16]:

- **Aumenta la inteligencia en perímetro y la nube:** Los servicios de Google Cloud IoT recopilan estadísticas en tiempo real, en el perímetro o la nube. Realiza análisis ad hoc con las estadísticas avanzadas de BigQuery y el AA de Vertex AI y visualiza los resultados en Google Data Studio.
- **Mejora la eficiencia operativa:** Descubre cómo tus dispositivos pueden funcionar con una plataforma que admite varios sistemas operativos, funciona perfectamente con Debian Linux OS y posee compatibilidad adicional para dispositivos de fabricantes líderes como Intel y Microchip.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Agrega inteligencia de ubicación a tus datos de IoT: Ya sea que tus recursos de IoT se encuentren en espacios cerrados, en áreas remotas o distribuidos en cientos de ciudades, con Google Maps Platform puedes visualizar su ubicación en tiempo real, hacia dónde se dirigen y la frecuencia con la que se mueven.

Microsoft Azure.

Azure se lanzó en 2010 y tenía en 2018 una cuota de mercado del 24%. Es capaz de recopilar datos, procesar, almacenar y utilizar análisis. También permite que las aplicaciones de IoT funcionen en comunicación bidireccional.

Microsoft Azure es una plataforma de servicios de Microsoft en una nube pública, es decir, cualquiera con una conexión a Internet puede entrar al portal 3 de Microsoft Azure y disponer de los servicios ofertados para crear sus aplicaciones [17].

Microsoft Azure es una plataforma de IoT fácil de usar, escalable, segura, integrable, analítica, personalizable y costo-efectiva que ofrece una amplia gama de servicios y soluciones para empresas. Las ventajas de Azure IoT incluyen la facilidad de uso, escalabilidad, seguridad, integración, análisis de datos, soluciones personalizadas y costo-efectividad, lo que la convierte en una opción atractiva para cualquier empresa que busque una solución en la nube confiable y eficiente para sus necesidades de IoT [18] [19].

Microsoft Azure permite a las empresas crear aplicaciones móviles de manera rápida y sencilla, configurar sus redes privadas, balancear las cargas DNS y administrar los dominios alojados, analizar los datos recopilados y proporcionar información útil para mejorar la eficiencia y productividad de la empresa y crear soluciones personalizadas para satisfacer sus necesidades específicas.

Microsoft Azure proporciona servicios IaaS y PaaS permitiendo crear y entregar un software como servicio, SaaS (ver Fig. 2.1). Es una plataforma compatible con casi todo tipo de tecnologías. Soporta Oracle, Linux, PHP, Node.js, Android, MySQL, iOS, Git, etc.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.



Fig. 2.1. Servicios IaaS, PaaS de Azure.[18]

Azure ofrece un servicio de base de datos seguro y organizado para que las empresas puedan gestionar sus datos de manera eficiente y completo servicio multimedia para codificar, almacenar y transmitir contenidos de audio y video. Además, proporciona una plataforma para desarrollar aplicaciones utilizando una amplia gama de tecnologías y lenguajes de programación [20].

Oracle IoT.

Es una plataforma IoT integrada que permite la comunicación privada entre dispositivos IoT y los servicios en la nube de Oracle a través de componentes Java (es decir, Java, Java Card y Java Embedded) y tecnologías Berkeley DB, ofreciendo soluciones específicas de Oracle como *Big Data Analytics*. Gestión de Big Data y *Oracle Fusion Middleware*[21].

Esta plataforma es combinación de cuatro parámetros cruciales tales como:

- *Open-that*: conecta cualquier tipo de dispositivo desde sensores a pasarelas.
- *Insight*: que cosecha el valor comercial de los datos de IoT.
- *Secure-that*: proporciona seguridad final normalizada para todo tipo de dispositivos, datos y conectividad heterogénea.
- *Accelerate*: que mueve la idea muy rápidamente a la ejecución con un riesgo mínimo.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Específicamente, la plataforma permite seguridad de extremo a extremo, integración con sistemas de TI empresariales, como planificación de recursos empresariales (ERP) y gestión de relaciones con el cliente (CRM), gestión y análisis de datos seguros.

La plataforma visualiza los dispositivos de IoT para facilitar y estandarizar su integración con la infraestructura y los sistemas de TI de la empresa. Para un equipo de desarrolladores, Oracle IoT proporciona una única plataforma base Java para el desarrollo de aplicaciones que reduce los tiempos de construcción y despliegue. Además, proporciona integración segura con aplicaciones y servicios de Oracle y no Oracle y dispositivos de IoT mediante REST API [22].

KAA.

Kaa es una tecnología middleware de código abierto aplicable al desarrollo de IoT empresarial a cualquier escala [23]. Esta plataforma ofrece soluciones de IoT en numerosos ámbitos, entre los que destacan: agricultura, ciudades inteligentes, comercio, deporte, telecomunicaciones, salud, etc.

Entre los puntos fundamentales que caracterizan a Kaa IoT Platform se encuentran:

- Cuenta con una arquitectura de micro servicios, ofreciendo así un alto grado de personalización, ya que estos se pueden reorganizar e integrar con sistemas de terceros.
- Es independiente de la tecnología, lo que da libertad a los desarrolladores para implementar aplicaciones prácticamente con cualquier lenguaje de programación.
- Además, ofrece también libertad de despliegue pudiendo implementar los servicios de Kaa en centros de datos, máquinas físicas o virtuales, infraestructuras de nube pública, híbrida o privada. Esta última permite contar con el control total del sistema, aumentando así la seguridad.
- Admite el uso de protocolos IoT abiertos como son MQTT y CoAP. MQTT es el protocolo utilizado por Kaa de forma predeterminada.
- Se trata de una plataforma escalable, elástica y auto-reparable, pudiendo admitir tantos clientes como se necesiten y restaurando la plataforma ante posibles fallos.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- En cuanto a la seguridad, TLS o DTLS son los certificados usados por defecto en las comunicaciones de Kaa con los dispositivos. Así mismo, Kaa ofrece una gestión flexible en lo que al ciclo de vida de las credenciales se refiere.
- Ofrece soporte de puerta de enlace, lo que significa que se puede optar por conectar los dispositivos directamente de forma individual o mediante una conexión multiplexada donde varios dispositivos utilizan la misma conexión al servidor. Esta última opción puede ser interesante por ejemplo para dispositivos con poca potencia como LoRaWAN o ZigBee.
- Presta servicios de los proveedores, ofreciendo asistencia profesional y soporte de producción.

Amazon Web Services IoT (AWS IoT).

AWS IoT es un servicio cuya finalidad es poder recopilar, almacenar y analizar datos recogidos de los dispositivos conectados a Internet, pudiendo crear también aplicaciones destinadas a los usuarios con el objetivo de que puedan controlar estos dispositivos. Para conseguir esto, AWS se encarga de establecer una comunicación bidireccional entre sensores, actuadores o aparatos inteligentes y la nube de AWS [24].

Algunos de los elementos que caracterizan a AWS IoT se describen a continuación:

- Gateway de dispositivos, permitiendo una comunicación segura y eficaz con AWS IoT.
- Cuenta con un agente de mensajes, el cual utiliza MQTT o MQTT sobre WebSocket para la publicación y recepción entre los dispositivos y aplicaciones AWS IoT.
- Hace uso de un motor de reglas que permite procesar mensajes y enviar los datos a otros servicios de AWS (Amazon DynamoDB, AWS S3, ...)
- Comprende servicios de seguridad e identidad, protegiendo el envío de datos desde los dispositivos con credenciales.
- Proporciona el registro de los dispositivos para facilitar la organización de los recursos asociados a estos en la nube de AWS.
- Cuenta con un servicio denominado Device Shadow con el que se publica información del estado de los dispositivos para que pueda ser usada por aplicaciones u otros dispositivos conectados.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Permite definir una estrategia de autenticación personalizada.
- Ofrece un Servicio de Jobs, con el cual se puede especificar un conjunto de operaciones remotas a uno o más dispositivos para que sean ejecutadas.

AWS es integrado directamente con otros servicios de AWS como son: Amazon S3 (almacenamiento escalable en la nube de AWS), Amazon DynamoDB (bases de datos NoSQL) y AWS Lambda (ejecución de código en servidores virtuales de Amazon EC2) entre otros.

La Fig. 2.2. representa un diagrama del funcionamiento de AWS IoT.

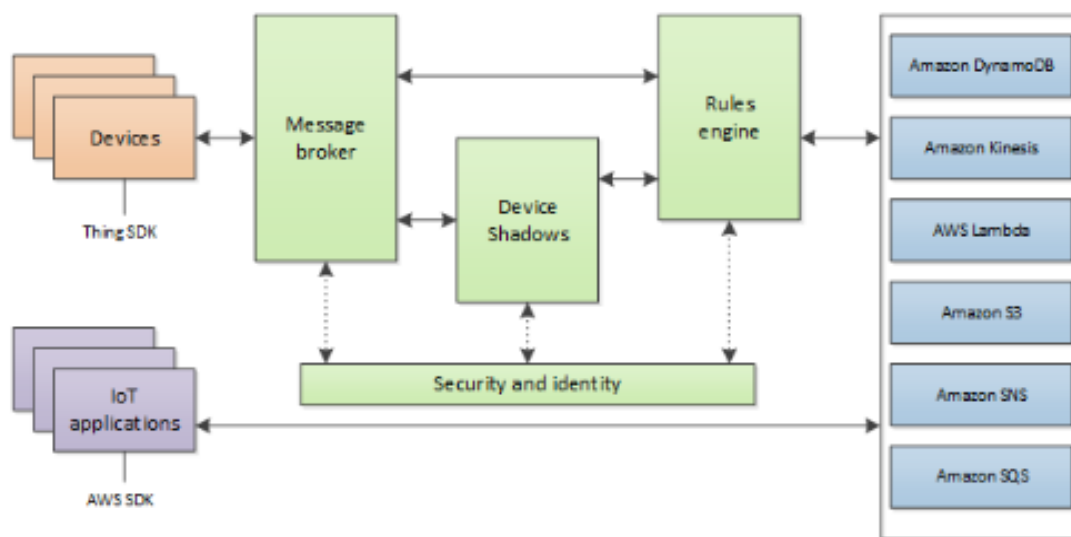


Fig. 2.2. Diagrama de flujo de AWS IoT.[25]

Thingworx 8 IoT.

Thingworx es otra plataforma popular diseñada por PTC y la mayoría de las industrias la utilizan actualmente. Proporciona una fácil conectividad entre los dispositivos [26]. Se centra en reducir el tiempo, el coste y el riesgo entre M2M y otras aplicaciones de IoT. Se utiliza para el desarrollo de diversas aplicaciones relacionadas con la construcción inteligente, ciudades inteligentes, agricultura inteligente, redes inteligentes, etc. La plataforma Thingworx 8 IoT es muy popular en comparación con versiones anteriores [27].

Thingworx ofrece características básicas, como:

- Fácil conectividad con dispositivos electrónicos, como sensores y RFIDs.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Puedes trabajar remotamente una vez que hayas terminado con la configuración.
- Widget pre-construido para el salpicadero.
- Eliminar la complejidad del proyecto.
- Aprendizaje automático integrado.

Tabla 1. Comparación entre las Plataformas IoT en La nube.

Plataforma IoT	Ámbitos de Aplicación	Ventajas	Desventajas
AWS IoT	-Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Buildings. - Smart Industry. - Health and Wellness.	-Plataforma líder, con casi infinitas posibilidades mediante sus diferentes servicios. -Sus tarifas son muy baratas.	-Requiere mucha investigación para conectar los diferentes servicios entre sí. -La plataforma cambia constantemente y requiere bastante formación para mantenerse al día.
Azure IoT	-Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Buildings.	-Plataforma bastante completa, con multitud de servicios y una arquitectura por capas muy bien definida. -Posee de un sistema de interacción con el dispositivo muy completo.	-Los servicios no se incluyen dentro de la tarifa base. -Los precios se engloban en 4 categorías poco flexibles y hay que tener mucho cuidado con el consumo para no acabar en una categoría sobredimensionada.
Oracle IoT	-Smart Energy. -Smart Agriculture. - Smart Industry. -Health and Wellness.	-Facilita la conexión a los dispositivos mediante clientes y puertas de enlace que se encargan de gestionar todo el proceso. -Herramientas de análisis de datos muy completas.	-Plataforma de reciente creación con un número limitado de servicios en comparación con sus competidores directos. -Categorías de precios muy difíciles de entender.
IBM Watson IoT	-Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Buildings. - Smart Industry. -Health and Wellness.	-Plataforma muy completa a la hora de analizar los datos para machine learning y minería de datos.	-Carece de una solución interna al nivel de otras plataformas para la representación de los datos. -La cantidad disponible de servicios, es más reducida en comparación a sus competidores.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Kaa	-Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Buildings. - Smart Oil. -Health and Wellness.	-Proporciona un flujo constante de datos. -Gestión de dispositivos sencilla: Simplifica la gestión de dispositivos. -Protege redes de IoT de amenazas.	-Puede ser costoso inicialmente. -Requiere una conectividad estable para funcionar. -Algunos de sus características pueden ser complejas para algunos usuarios.
Google Cloud's	-Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Buildings. - Smart Industry. -Health and Wellness.	-Protege los datos de negocio. -Funciona sin problemas con dispositivos de las principales marcas de hardware.	-Puede ser costoso. -Puede ser un poco complejo para usuarios no técnicos.
Thingworx 8	-Smart City. -Smart Energy. -Smart Building.	-Flexibilidad y escalabilidad. -Facilidad de desarrollo. -Conectividad e interoperabilidad. -Análisis avanzado de datos. -Integración con otras plataformas y sistemas.	-Ofrece herramientas visuales y amigables para el desarrollo. -Se basa en la computación en la nube. -Puede haber limitaciones en cuanto a la personalización y adaptación a necesidades específicas.

2.1.2 Plataformas de Código Abierto.

Las plataformas IoT de código abierto ofrecen una serie de beneficios para el desarrollo y la implementación de soluciones IoT, incluyendo capacidades amplias y continuas, colaboración y personalización, mejor análisis de datos y agilización en el proceso de diseño de soluciones. Estas plataformas también proporcionan oportunidades para desarrolladores individuales y empresas para colaborar e integrarse en el crecimiento y la evolución del IoT.

Entre las principales plataformas IoT de código abierto (open-source) se encuentran:

- NodeMCU
- ThingSpeak
- Mobius
- OpenIoT
- ThingsBoard
- Grafana

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Node Red

NodeMCU.

NodeMCU es una plataforma de código abierto basada en ESP8266 que puede conectar objetos y permitir la transferencia de datos utilizando el protocolo Wi-Fi. Además, al proporcionar algunas de las características más importantes de los microcontroladores como GPIO, PWM, ADC, etc., puede resolver muchas de las necesidades del proyecto por sí solo.

Las características generales de esta placa son:

- Es Fácil de usar.
- Programabilidad con los lenguajes Arduino IDE o IUA.
- Disponible como punto de acceso o estación practicable en aplicaciones de API impulsadas por eventos.
- Tener una antena interna.
- Contiene 13 pines GPIO, 10 canales PWM, I2C, SPI, ADC, UART, y 1-Wire.

OpenIoT.

OpenIoT es una plataforma de middleware de código abierto que unifica IoT con los servicios de computación en la nube. Su infraestructura permite una configuración flexible y la creación de algoritmos con los que recoger y filtrar los diferentes flujos de datos procedentes de los objetos conectados a Internet [28]. La Fig.2.3 es una representación simple del funcionamiento de esta plataforma.

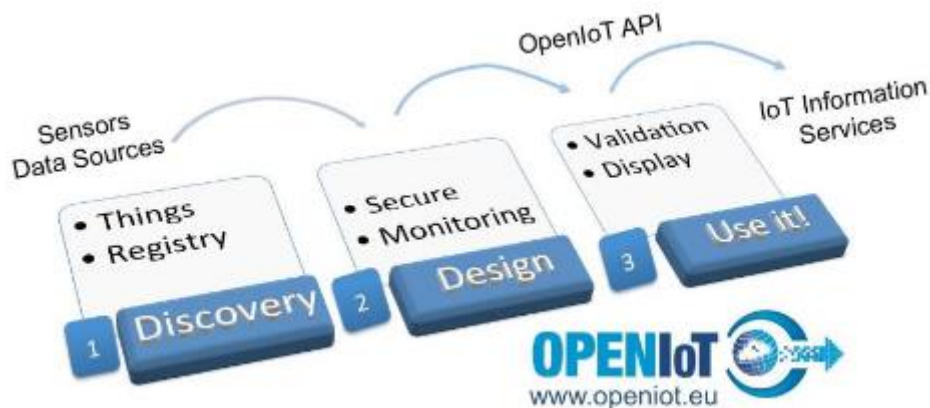


Fig. 2.3. Diagrama de funcionamiento de OpenIoT.[29]

Las capacidades más importantes de OpenIoT:

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Ofrece el registro, implementación y descubrimiento de sensores según su ubicación y tipo.
- Capacidad de monitorizar el estado de los servicios de IoT, los datos que se manejan en cada uno y el estado de los sensores correspondientes.
- Asegura la interoperabilidad semántica de los servicios IoT y los flujos de datos en la nube.
- Presenta autenticación y autorización para el acceso a estos recursos.
- Permite la visualización de la información correspondiente a los servicios IoT en diferentes formatos como mapas, gráficos de diferentes tipos o paneles.
- Cuenta con la posibilidad de desarrollar aplicaciones sencillas prácticamente sin programar, lo que acelera el proceso de creación de dichas aplicaciones.

ThingSpeak.

ThingSpeak es una plataforma de análisis de IoT de código abierto que permite la recogida de los datos captados por los sensores, su almacenamiento en la nube y su posterior visualización y análisis [28]. Además, posibilita la creación de prototipos y construcción de sistemas IoT sin tener que configurar servidores o desarrollar software web. La Fig.2.4 muestra un diagrama de lo que sería su estructura básica.

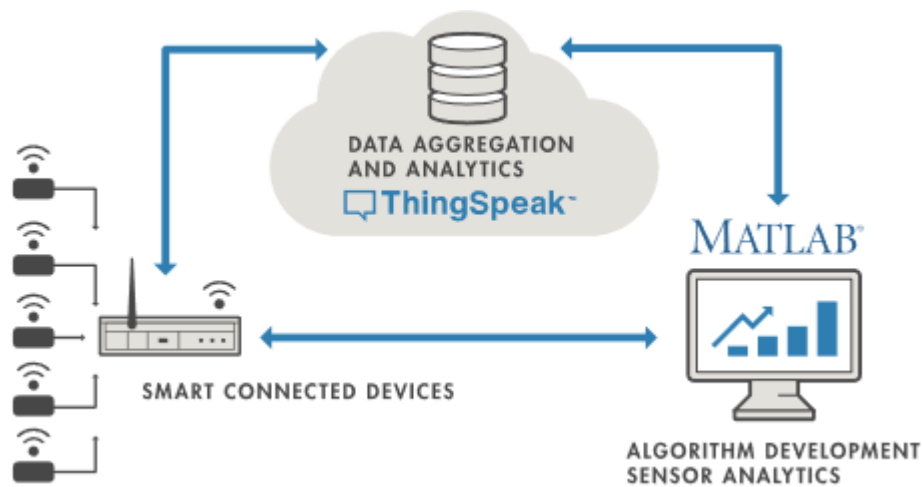


Fig. 2.4. Estructura básica de ThingSpeak.[30]

Las principales capacidades que presenta esta plataforma se pueden resumir en los siguientes puntos:

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Presenta una configuración sencilla de los dispositivos que efectúan la recogida de los datos y envío de estos a la nube haciendo uso de protocolos de IoT populares. ThingSpeak almacena por defecto los datos en canales privados, pero también ofrece canales públicos donde los datos pueden ser compartidos.
- Ofrece el análisis de los datos almacenados. La característica que diferencia a esta plataforma de otras es que proporciona acceso a MATLAB. Esto permite visualizar los datos en gráficos, diagramas o medidores y facilita la obtención de algoritmos, patrones o modelos predictivos para los sistemas IoT.
- Permite establecer respuestas automáticas según el resultado del análisis de dichos datos, pudiendo crear alertas y comunicarse a través de servicios de terceros como Twilio o Twitter.

ThingsBoard.

ThingsBoard se conoce como una plataforma de IoT de código abierto que se puede utilizar para la recopilación, el procesamiento, la visualización y la gestión de dispositivos de datos [31].

ThingsBoard permite a los usuarios diseñar y configurar paneles de IoT personalizable [32], [33]. Estos paneles suelen contener widgets que visualizan datos de telemetría de diferentes dispositivos de IoT. Estos widgets incluyen tarjetas, gráficos, tablas, alarmas e indicadores digitales. Los widgets del panel también se pueden modificar de cualquier manera o forma que se ajuste al usuario.

Entre las principales características de ThingsBoard se destacan:

- Conectividad: admite protocolos estándar de IoT como MQTT, CoAP y HTTP.
- Gestión de dispositivos: ofrece al usuario la posibilidad para registrar, administrar y monitorear diferentes dispositivos. Además, Proporciona API para que las aplicaciones del lado del servidor envíen comandos a dispositivos y viceversa.
- Almacenamiento y visualización de datos: soporta bases de datos como HSQLDB, PostgreSQL y Cassandra y ofrece paneles de control personalizados a los usuarios monitorear datos en tiempo real con muchos configurables widgets.
- Análisis de datos: tiene su motor de roles para primaria análisis de mensajes entrantes y se puede integrar con Kafka y Apache Spark para procesamiento más complejo.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Grafana.

Grafana es una suite de visualización y análisis de métricas de código abierto. Es comúnmente usado para visualizar datos de series de temporales y análisis de aplicaciones, pero también es utilizado en otras áreas, incluidos sensores industriales, domótica, clima y control de procesos. Esta herramienta facilita la construcción de las consultas a los datos y la personalización de las propiedades de visualización para poder crear tableros de acuerdo a las necesidades del proyecto. Cada panel puede interactuar con los datos de cualquier fuente de datos configurada [34].

Grafana tiene un modelo de fuente de datos que es altamente plugable y admite múltiples fuentes de datos basadas en series de tiempo como Prometheus, InfluxDB y OpenTSDB, así como bases de datos SQL como MySQL y Postgres. Independiente de donde se almacenan los datos, le permite consultar los datos utilizando el editor de consultas, visualizarlos usando salpicaderos y alertar en ellos utilizando la función de alerta.

Grafana, al trabajar principalmente con series temporales de datos, permite realizar filtrados por rangos temporales configurables por el usuario, con períodos de agregación y refresco de datos también configurable por el usuario. Además, la herramienta también permite incorporar filtros personalizados en los cuadros de mandos en función de valores almacenados en la base de datos y aplicarlos sobre los datos que se vayan a utilizar para generar las gráficas. Esta característica es muy interesante para las aplicaciones IoT, entre otras, ya que nos permite realizar filtrados de datos según convenga [35].

Grafana dispone de variedad de gráficos definidos por defecto como gráficos de serie temporal, pastel, barras, tablas, etc. Pero también existen módulos capaces de extender la funcionalidad de Grafana añadiendo nuevos tipos de gráficos y nuevas fuentes de datos. Por todo ello, se considera que Grafana es una buena elección para generar cuadros de mandos para este trabajo.

Grafana tiene un modelo de fuente de datos que es altamente plugable y admite múltiples fuentes de datos basadas en series de tiempo como Prometheus, InfluxDB y OpenTSDB, así como bases de datos SQL como MySQL y Postgres. Independiente de donde se almacenan los datos, le permite consultar los datos utilizando el editor de consultas, visualizarlos usando salpicaderos y alertar en ellos utilizando la función de alerta [32].

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Node Red.

La cantidad de entornos a elegir cuando se requiera desarrollar un proyecto en el ámbito del IoT va disminuyendo si se requieren ventajas como sencillez, facilidad de uso, una interfaz gráfica intuitiva, disponer de una comunidad de usuarios y soporte. Es por esto que la herramienta a utilizar escogida es Node-RED.

Esta es una herramienta o entorno de desarrollo gratuito para interconectar diversos dispositivos de hardware, API y servicios en línea. El software fue desarrollado originalmente por IBM y luego lanzado como software de código abierto. Desde entonces, se ha desarrollado constantemente y está disponible gratuitamente a todos [37].

El programa ofrece una interfaz web que se puede utilizar para programación basada en flujo, similar a Programación mediante diagrama de bloques de funciones (FBD) o diagrama de escalera (LAD) de controladores Siemens. En los distintos bloques disponibles se denominan aquí "nodos" y son comparables a FC o FB. Ellos ofrecen entradas y salidas con las que se pueden conectar los nodos individuales [38].

Los datos se transfieren entre los bloques en forma de mensajes. Cada mensaje consta de un título llamado tema y un contenido llamado carga útil. Estos mensajes se muestran como JSON (JavaScript Notación de objetos) [39].

La interfaz gráfica ayuda, y mucho, a entender el flujo de los datos que se manejan. La edición de dichos flujos se lleva a cabo mediante una especie de cajas llamadas nodos conectadas por hilos, las cuales pueden contener cualquier utilidad que se nos ocurra [39].

Además de poder manejar flujos con las herramientas que nos proporciona la herramienta existe la posibilidad de descargar nodos adicionales, provenientes la mayoría de usuarios que aportan a la comunidad sus creaciones; por lo tanto, existe la posibilidad de crear un nodo completamente desde cero, diseñando cada componente al gusto del usuario [37].

Mobius.

La plataforma Mobius es un sistema operativo para dispositivos IoT que permite una amplia gama de actividades y servicios de valor agregado. La plataforma Mobius es una plataforma de servidor de servicios de IoT.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Cumple con oneM2M, la iniciativa de estándares globales para M2M e Internet de las cosas. Como se muestra en la Fig.2.5, la plataforma Mobius se conecta con dispositivos y aplicaciones de IoT. Los dispositivos IoT admiten los protocolos HTTP, CoAP y MQTT; por otro lado, la aplicación solo admite HTTP. MySQL DBMS se utiliza para almacenar recursos en la plataforma Mobius. Muchos proyectos de IoT y contribuciones de investigación están orientados al desarrollo de prototipos, estándares y automatización de procesos[40].

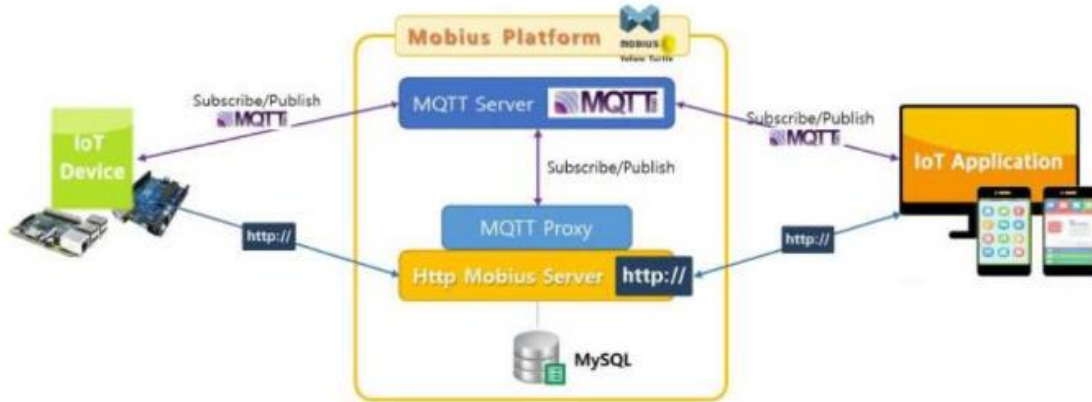


Fig. 2.5. Arquitectura de la plataforma Mobius.[41]

La versión actual de la plataforma Mobius está desarrollada en base a Node JS utilizando Java Script. Utiliza MySQL DBMS y admite protocolos HTTP/MQTT. La plataforma Mobius utiliza HTTP como protocolo predeterminado. También hay un proxy en la plataforma que puede transferir MQTT a HTTP. Todas las solicitudes HTTP deben agregarse en el enrutador y, después de pasar por el analizador actor, los datos se pueden almacenar en la base de datos. Finalmente, la respuesta se maneja en el respondedor [42].

Tabla 2. Comparación entre Plataformas IoT de fuente abierta.

Plataforma MEC	Ámbitos de Aplicación	Ventajas	Desventajas
NodeMCU	<ul style="list-style-type: none"> -Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Buildings. - Smart Industry. -Smart Home. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ofrece una interfaz y una sintaxis simplificadas en comparación con otros lenguajes de programación. -Admite conectividad WiFi. -Es compatible con una amplia variedad de sensores y actuadores. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene recursos limitados en términos de capacidad de almacenamiento y memoria. -Utiliza el lenguaje de programación Lua. -Limitaciones de recursos y capacidad de procesamiento.
ThingSpeak	<ul style="list-style-type: none"> -Smart Home 	<ul style="list-style-type: none"> -La plataforma es de código abierto. 	<ul style="list-style-type: none"> -Su sistema de reglas es poco intuitivo y difícil de configurar.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

		<ul style="list-style-type: none"> -Permite agrupar dispositivos IoT por función o localización mediante sus canales. -Fácil de utilizar. 	<ul style="list-style-type: none"> -La instalación de la plataforma en una nube privada es complicada y tiende a fallar.
Mobius	<ul style="list-style-type: none"> -Smart Logistics. -Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Home. -Health and Wellness. 	<ul style="list-style-type: none"> -Puede manejar grandes volúmenes de datos. -Facilita el registro, la configuración, la monitorización y el control de los dispositivos IoT conectados. -Permite obtener información valiosa a partir de los datos recopilados y tomar decisiones basadas en ellos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Puede requerir cierto tiempo y esfuerzo para familiarizarse con la plataforma y sus características. -Puede requerir soluciones adicionales o trabajo de desarrollo personalizado para lograr ciertas funcionalidades específicas.
OpenIoT	<ul style="list-style-type: none"> -Smart Industry. -Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Health and Wellness. 	<ul style="list-style-type: none"> -Puede manejar grandes volúmenes de datos y un número significativo de dispositivos conectados. -Proporciona herramientas y capacidades para el análisis y la visualización de datos de IoT. 	<ul style="list-style-type: none"> -Puede dificultar la resolución de problemas y obtener ayuda en caso de dificultades. -Es posible que debas invertir más tiempo y esfuerzo en realizar integraciones personalizadas con otros componentes del ecosistema de IoT.
ThingsBoard	<ul style="list-style-type: none"> -Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Home. -Smart Industry. 	<ul style="list-style-type: none"> -Es capaz de crecer y expandirse fácilmente a medida que tu proyecto de IoT se vuelve más grande. -Se puede adaptar y personalizar la plataforma según tus necesidades específicas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere tiempo y esfuerzo para familiarizarse con la plataforma y aprender a utilizarla de manera efectiva. -Requiere más tiempo y esfuerzo personalizar las integraciones con otros componentes del ecosistema de IoT.
Grafana	<ul style="list-style-type: none"> -Smart City. -Smart Energy. -Smart Agriculture. -Smart Home. -Smart Industry. -Health and Wellness. 	<ul style="list-style-type: none"> -Proporciona una amplia gama de opciones y herramientas para visualizar datos de forma efectiva. -Puedes conectar y visualizar datos de bases de datos, API, servicios en la nube y otros sistemas compatibles. 	<ul style="list-style-type: none"> -No proporciona capacidades de almacenamiento de datos a largo plazo. -Puede tener limitaciones en términos de análisis avanzado y procesamiento complejo de datos. -Depende de la disponibilidad y confiabilidad de las fuentes de datos externas, como bases de datos y servicios en la nube.
Node Red	<ul style="list-style-type: none"> -Smart Logistics. -Smart City. -Smart Energy. -Smart Home. 	<ul style="list-style-type: none"> -Puedes crear tus propios nodos personalizados para adaptarse a tus necesidades específicas. -Facilita el procesamiento de datos en tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> -La administración de flujos complejos y grandes volúmenes de datos puede volverse más desafiante. -Requiere recursos de hardware y memoria significativos.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

		-Permite enviar datos a servicios en la nube para su almacenamiento, análisis y visualización.	
--	--	--	--

2.2 Criterios de selección de plataformas IoT.

Una plataforma de IoT es la parte principal de una solución de IoT. Hay cientos de proveedores de plataformas de IoT en el mercado, y encontrar y seleccionar una plataforma de IoT adecuada que sea confiable y escalable es difícil. Sin embargo, la consideración de algunos factores clave antes de tomar una decisión de selección de plataforma puede permitir a las empresas encontrar y seleccionar una plataforma de IoT adecuada para su negocio. Los requisitos de la plataforma son específicos del contexto y no es necesario que una plataforma incluya todos los factores que se analizan a continuación.

Estabilidad: Hay cientos de plataformas de IoT en el mercado y puede darse el caso de que no todas las plataformas funcionen perfectamente. Es posible que algunas plataformas no puedan brindar servicios a los clientes. Por tanto, se debe elegir una plataforma que tenga altas posibilidades de supervivencia en el mercado. Se puede obtener información sobre la plataforma de clientes anteriores que utilizan la misma plataforma.

Escalabilidad y flexibilidad: Inicialmente, una empresa puede ser pequeña y operar en un área de pequeñas empresas, pero, idealmente, con el tiempo, el negocio se expandirá y con este crecimiento, el área de negocios también se expandirá. Por lo tanto, para garantizar que la plataforma IoT pueda respaldar al negocio durante todo su desarrollo, la plataforma debe ser escalable según las necesidades del negocio [43]. De manera similar, la plataforma debe ser flexible en cuanto a la tecnología, ya que la tecnología moderna y las demandas del mercado cambian rápidamente.

Seguridad: La seguridad es un aspecto importante de IoT y todas las plataformas que brindan servicios de IoT deben tener una seguridad de alta calidad. La seguridad puede ser un dispositivo para implementar seguridad de red en la nube, cifrado de datos, autenticación de aplicaciones, inicio seguro de sesión, autenticación de aplicaciones, seguridad en la nube y seguridad del dispositivo (autenticación y certificación actualizada) [44].

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Herramientas de visualización y análisis de datos: antes de seleccionar una plataforma de IoT, los posibles usuarios de la plataforma de IoT deben establecer qué plataforma ofrece las mejores capacidades para agregar, analizar y visualizar datos. En particular, los usuarios deben considerar cómo la plataforma IoT integra conjuntos de herramientas de análisis líderes y los utiliza para reemplazar la funcionalidad integrada. Los requisitos de análisis de datos y visualización de información deben identificarse antes de seleccionar una plataforma de IoT [45].

Propiedad de la infraestructura de la nube: la capa de infraestructura de hardware es muy costosa y algunos proveedores de plataformas de IoT más pequeños solo proporcionan la capa de software. Algunos proveedores de plataformas de IoT certifican su plataforma en uno o varios proveedores líderes de nube pública y en su mayoría ejecutan sus servicios en una única plataforma líder[44].

Por lo tanto, se debe comprobar la compatibilidad de la estrategia más amplia de nube empresarial con el proveedor de la plataforma IoT.

Alcance de la arquitectura heredada: la conectividad en un IoT existente a menudo se desconoce y los dispositivos de IoT están diseñados para funcionar con una variedad de sistemas de infraestructura. Por lo tanto, al seleccionar una plataforma de IoT, las empresas deben determinar cómo las nuevas generaciones de tecnología pueden entrelazarse con la tecnología más antigua [46].

Protocolo: los protocolos importantes admitidos por las plataformas de IoT son MQTT, HTTP, AMQP y CoAP. Debido a su naturaleza binaria, MQTT es extremadamente liviano y tiene gastos generales mucho menores. Como resultado del desarrollo de la tecnología, están apareciendo nuevos dispositivos en el mercado. La plataforma de IoT seleccionada debe admitir nuevos protocolos y permitir una fácil actualización de estos protocolos [43], [44], [46].

Rendimiento del sistema: en una plataforma de IoT, cuando ocurre un evento, se invoca automáticamente un activador basado en reglas. Dado que las plataformas de IoT admiten activadores basados en reglas, a medida que un mayor número de dispositivos se conectan a la plataforma de IoT, aumenta el tiempo promedio para analizar y manejar cada evento.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Antes de seleccionar una plataforma de IoT, se debe tener en cuenta qué medidas ha tomado el proveedor para mantener un alto rendimiento de la plataforma de IoT [47].

Interoperabilidad: la solución de plataforma IoT es un middleware. Los datos recopilados serán utilizados por muchas aplicaciones y es posible que no estén disponibles en la propia plataforma. En consecuencia, la plataforma de IoT seleccionada debe admitir la integración con ecosistemas de código abierto.

Redundancia y recuperación ante desastres: a veces ocurren problemas en la infraestructura de TI, ya sean naturales o provocados por el hombre, y los proveedores de plataformas de IoT deben tener una infraestructura dedicada para manejar los datos durante tales sucesos.

Las cuestiones que requieren consideración incluyen el cronograma del plan de respaldo de datos y si la plataforma de IoT tiene provisión de clúster de conmutación por error [47].

Interfaz atractiva: La interfaz proporcionada por la plataforma IoT debe ser simple, atractiva y fácil de usar, de modo que a los clientes les resulte fácil utilizar sus funcionalidades. Todos los servicios ofrecidos a los clientes deben ser fáciles de acceso.

Entorno de aplicación: se deben considerar tres aspectos del entorno de aplicación antes de seleccionar una plataforma de IoT: qué aplicaciones están disponibles listas para usar, cuáles son las características del entorno de desarrollo de aplicaciones y cuáles son las interfaces de aplicación comunes [48]

Nube híbrida: algunas plataformas de IoT pueden adaptarse a las existentes Sistemas informáticos alojados en las instalaciones de la empresa. En tales situaciones, una nube híbrida es muy útil ya que los procesos críticos o sensibles al negocio pueden manejarse localmente, mientras que las operaciones públicas y menos críticas pueden ser administradas por la plataforma IoT [46].

Migración de plataforma: con el tiempo y a medida que la empresa crece, es posible que la plataforma IoT no pueda cumplir con todos los requisitos de la empresa. Por lo tanto, es posible que se necesite un proveedor de plataforma de IoT más grande. En consecuencia, las empresas deben asegurarse de que el proveedor de la plataforma de IoT seleccionado

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

proporcione interfaces, esquemas y API claramente documentados para cualquier posible migración futura a otras plataformas de IoT [38], [41].

Experiencia previa: antes de la selección, una empresa debe comprobar si el proveedor de la plataforma IoT tiene alguna experiencia de trabajo similar a la de la aplicación de la empresa. Una experiencia laboral exitosa en la misma área puede considerarse una buena señal [44].

Ancho de banda: para un movimiento eficiente de información y comunicación entre los componentes de procesamiento, la plataforma IoT necesita redes de baja latencia y alto ancho de banda. Por lo tanto, debe asegurarse de que un potencial proveedor de plataforma de IoT tenga un gran flujo de datos y que haya suficiente espacio para crecer [43], [44], [48].

Inteligencia y control de borde: las plataformas de IoT están avanzando a un ritmo rápido debido a la alta competencia en los mercados tecnológicos y comerciales. El futuro de las plataformas de IoT avanza hacia la inteligencia distribuida, fuera de línea y de borde [39]. Los dispositivos se vuelven más poderosos cuando pueden tomar decisiones basadas en datos locales en lugar de esperar cada decisión desde la nube.

Por lo tanto, se debe garantizar que la plataforma IoT tenga la capacidad de admitir nuevas topologías y utilizar inteligencia de punta [43].

2.3 Soluciones de almacenamiento.

El almacenamiento de borde es una arquitectura de almacenamiento distribuido que almacena los datos en el borde de una red en lugar de en una nube centralizada o en un servidor local.

El almacenamiento Edge forma parte de muchos flujos de trabajo de almacenamiento de datos que implican ubicaciones remotas o descentralizadas.

El almacenamiento remoto de datos ha existido desde que las organizaciones empezaron a gestionar TI en situaciones de oficina remota. Pero el almacenamiento en el borde se ha hecho mucho más frecuente con la llegada de la conectividad 5G el Internet de las cosas o dispositivos periféricos y con el procesamiento y análisis de datos en tiempo real.

Sin embargo, estos dispositivos IoT generan colectivamente tantos datos que no es eficiente ni eficaz gestionarlos de forma centralizada tradicional. El mero volumen de datos del borde puede abrumar a los sistemas de almacenamiento centralizados tradicionales.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Estas soluciones suelen estar expuestas a los rigores del entorno, por lo que deben ser físicamente duraderas. Deben soportar las fluctuaciones de temperatura y las vibraciones, y ser física y digitalmente seguras, al tiempo que fáciles de manejar y consumir poca energía.

El almacenamiento **Edge** utiliza tradicionalmente tarjetas SD internas o dispositivos de almacenamiento de conexión directa (DAS) conectados al dispositivo de captura de datos. Pero ahora el almacenamiento en el borde se facilita cada vez más a través de centros de datos reducidos repartidos por todo el borde.

Dado que el objetivo del almacenamiento de borde está relacionado con el rendimiento, la mayoría de los almacenamientos de borde tienen unos requisitos de tamaño de almacenamiento relativamente modestos. Pero deben estar físicamente cerca de los recursos informáticos y ser lo suficientemente ágiles para procesar y mover datos sensibles al tiempo.

Los sistemas de almacenamiento en el borde emplean una combinación de preprocesamiento de datos en el borde combinado con el almacenamiento centralizado de un subconjunto de todos los datos recogidos, sobre todo para reducir costes y ancho de banda.

La caché de borde es una técnica de almacenamiento de borde que almacena datos en el borde temporalmente antes de trasladarlos a sistemas centralizados para su procesamiento y almacenamiento a largo plazo. La caché de borde se utiliza a menudo en las redes de distribución de contenidos (CDN) porque proporciona la flexibilidad de retener datos para su entrega a los consumidores de datos o al almacenamiento de la empresa.

Las principales ventajas del almacenamiento de borde son la velocidad, la disponibilidad y la eficiencia. Esto se debe a que los datos se almacenan físicamente más cerca de las fuentes de datos y las aplicaciones para reducir la latencia y utilizar menos ancho de banda.

Las soluciones de almacenamiento *Edge* pueden ser cualquier tipo de almacenamiento siempre que esté cerca a la fuente de captura de datos. Algunos tipos son

- Tarjetas SD extraíbles: En general, tienen menos capacidad de almacenamiento que las otras opciones (entre 32GB y 1TB). Estas suelen utilizarse generalmente en cámaras IP, lectores de calorías y sensores de movimiento.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Unidades SSD PCIe: Tienen más capacidad de almacenamiento que las tarjetas SD (entre 64GB y 16TB). Por lo general se utilizan en el almacenamiento de videos de vigilancias de sistemas de vigilancia.
- Matrices RAID: Tienen alta capacidad de almacenamiento (entre 1TB y 500TB), pero la configuración correcta y el número de discos de la matriz puede variar. Estas se utilizan en centros de telemetría porque requieren alta capacidad de almacenamiento y velocidades de transferencia de datos para registrar y transmitir datos de sensor en tiempo real. También se utilizan en sistemas de gestión energética para rastrear y optimizar el consumo energético a lo largo de edificios o comunidades, utilizando la información de sensores para determinar las áreas donde pueden realizarse ahorros energéticos.
- Unidades de disco duro (HDD): Tienen buena capacidad de almacenamiento (entre 500GB y 16TB). Estas tienen gran utilización en sistemas de monitorización ambiental al registrar y almacenar datos de sensores de temperatura, humedad y niveles de contaminación del aire, además de emplearse en cámaras de seguridad ya que las HDD son una opción económica para almacenar grandes volúmenes de datos de vídeo de las cámaras de seguridad.
- Almacenamiento en red (NAS): Tienen la mayor capacidad de almacenamiento de las opciones anteriores, generalmente entre 2TB y 100TB o más. Además, al estar conectados a la red, son accesibles de forma remota desde diferentes dispositivos. Es empleado en sistemas de identificación de objetos, sistemas de automatización doméstica, sistemas de seguridad, sistemas de predicción de mantenimiento, etc.

Todos estos dispositivos de almacenamiento en el borde deben ser seguros, flexibles y capaces de soportar las presiones del entorno.

Desde luego, la infraestructura de almacenamiento Edge no es perfecta. Inicialmente es más cara que el almacenamiento centralizado y se añade al coste de cada dispositivo de borde de tu red. Aunque esto se compensa porque los costes de almacenamiento son más baratos que

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

el ancho de banda. El ancho de banda es cuatro veces más caro que el almacenamiento en AWS, y el hecho de que no todos los datos recogidos necesiten cargarse ahorra más costes.

El almacenamiento Edge también es más difícil de gestionar y mantener, en gran parte debido a su ubicación -a veces en lugares remotos- y no tiene tanta capacidad como la nube. Pero estos problemas de capacidad pueden gestionarse descargando estratégicamente los datos durante los periodos de menor actividad.

Los servidores Edge juegan un papel importante en la computación de bordes al proporcionar los recursos de cómputo necesarios para lograr el objetivo de reducir la latencia. Hay dos tipos distintos de servidores de borde: servidores de bordes de red de entrega de contenido (CDN) y servidores de competencia de borde.

Servidores de borde de CDN.

Un servidor de borde CDN es un servidor colocado estratégicamente que proporciona a los usuarios versiones en caché de contenido estático de servidores de origen. Esto significa que los servidores de borde de CDN proporcionan contenido como imágenes, JavaScript, HTML y contenido descargable. Como resultado, los servidores de bordes de CDN ayudan a reducir la carga de trabajo en los servidores de origen y reducen la latencia para los usuarios. Estos servidores se despliegan en puntos de presencia (PoPs) y ubicaciones de bordes a través de una red de entrega de contenido.

Servidores de competencia de borde.

Contrariamente a la entrega de contenido, los servidores de competencia de borde proporcionan recursos de cómputo en el borde de red. Al igual que los servidores de bordes CDN, los servidores de nivel de borde se despliegan estratégicamente para reducir la latencia. Sin embargo, en lugar de servir contenido web estático, los servidores de competencia de borde proporcionan funcionalidades como el procesamiento de datos para aplicaciones IoT y redes 5G.

Cómo funcionan los servidores de bordes de CDN

A un alto nivel, el proceso funciona de la siguiente manera:

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

- Un cliente hace una solicitud de un recurso web con contenido estático (por ejemplo, un vídeo) navegando a un URI dado.
- La solicitud del cliente se envía al sitio web de CDN.
- El CDN utiliza Anycast DNS para determinar qué servidor CDN edge es geográficamente más cercano y dirige la solicitud allí.
- Si el servidor de borde de CDN ya tiene una copia del contenido, responde directamente a la solicitud. El resultado es significativamente menor latencia que si la solicitud tuviera que ser enrutada al servidor de origen.
- Si el servidor de borde de CDN no tenía una copia del contenido, lo solicita desde el servidor de origen, lo proporciona al cliente y lo almacena en caché para futuras solicitudes.

Cómo funcionan los servidores de competencia de borde.

Los servidores de borde-compute también funcionan reduciendo la distancia geográfica y, a su vez, latencia entre productores y consumidores de datos. Sin embargo, en el caso de los servidores de competencia de borde, los productores de datos son a menudo dispositivos IoT y los servidores están procesando los datos que crean. Por ejemplo, un servidor de competencia de borde puede sentarse entre los dispositivos IoT en un piso de fábrica y la nube o un centro de datos empresarial.

En ese caso, los datos fluyen como este:

- Los dispositivos IoT (cámaras, sensores) en el piso de la fábrica envían datos a un servidor de nivel de borde (es decir, puerta de entrada de borde).
- El servidor de competencia de borde proporciona procesamiento local, almacenamiento y análisis de los datos de los dispositivos IoT.
- El servidor de nivel de borde envía datos procesados relevantes a la nube o a un centro de datos corporativos para su posterior procesamiento.

En este caso, los beneficios del servidor de bordes incluyen un ancho de banda muy reducido a y desde la nube o centro de datos corporativos y la latencia reducida. Sin el servidor de toque de borde, había datos significativamente más sin procesar que fluir directamente a la

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

nube o centro de datos, lo que conduce a tiempos de procesamiento más lentos y suficiente latencia para hamstring flujos de trabajo de procesamiento de datos en tiempo real.

Tabla 3. Comparación entre soluciones de almacenamiento.

Solución de almacenamiento	Capacidad de almacenamiento	Ventajas	Desventajas
Tarjetas SD extraíbles	<ul style="list-style-type: none"> -Tarjetas SD estándar (SDSC): hasta 2. -Tarjetas SD de alta capacidad (SDHC): desde 4 GB hasta 32 GB. -Tarjetas SD extendidas de capacidad (SDXC): va desde 64 GB hasta 2 terabytes (TB). 	<ul style="list-style-type: none"> -Son pequeñas, livianas y fáciles de transportar. -Proporcionan almacenamiento adicional a tus dispositivos electrónicos. -Son compatibles con una amplia variedad de dispositivos. -Son utilizadas en una amplia variedad de dispositivos, desde cámaras digitales y teléfonos móviles hasta sistemas de navegación GPS y consolas de juegos. -Presentan una alta resistencia y durabilidad. -Tienen una alta disponibilidad asequibilidad en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor vulnerabilidad a la corrupción de datos. - Riesgo de pérdida o daño. - Velocidad de transferencia limitada.
Unidades SSD PCIe	<ul style="list-style-type: none"> -Capacidades más pequeñas: desde 128 GB hasta 256 GB. -Capacidades intermedias: oscilan entre 512 GB y 1 TB. -Capacidades de alta capacidad: capacidades de 2 TB, 4 TB e incluso 8 TB o más en algunos casos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Velocidades de transferencia de datos más rápidas. - Rendimiento superior. - Mayor capacidad de almacenamiento. - Conexión directa a la placa base. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor temperatura de funcionamiento. - Costo más alto. - Requieren una ranura PCIe disponible en la placa base para poder conectarse y funcionar correctamente.
Matrices RAID	<ul style="list-style-type: none"> -RAID 0: La capacidad total de almacenamiento en una matriz RAID 0 es igual a la suma de las capacidades individuales de los discos utilizados. 	<ul style="list-style-type: none"> -Redundancia y tolerancia a fallos. - Mejor rendimiento. - Facilidad de administración. 	<ul style="list-style-type: none"> -Rendimiento limitado en escritura. - Pérdida de capacidad. - Implementar una matriz RAID puede ser costoso.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

	<p>-RAID 1: la capacidad total de almacenamiento es igual a la capacidad de uno de los discos utilizados.</p> <p>-RAID 5: la capacidad total de almacenamiento en una matriz RAID 5 se calcula como la capacidad de los discos totales menos la capacidad de un disco utilizado para la paridad.</p> <p>-RAID 6: La capacidad total de almacenamiento en una matriz RAID 6 se calcula como la capacidad de los discos totales menos la capacidad de dos discos utilizados para las paridades.</p>	<p>- Mejora del rendimiento de lectura.</p>	<p>- Configurar y administrar una matriz RAID puede ser más complejo que utilizar discos individuales.</p>
<p>Unidades de disco duro (HDD)</p>	<p>-Capacidades más pequeñas: van desde 250 GB hasta 500 GB. - Capacidades intermedias: oscilan entre 1 TB y 4 TB.</p> <p>-Capacidades de alta capacidad: capacidades de 6 TB, 8 TB, 10 TB, e incluso mayores.</p>	<p>-Durabilidad.</p> <p>-Retención de datos a largo plazo.</p> <p>-Son ampliamente compatibles con una variedad de sistemas operativos y dispositivos.</p> <p>-Tienden a ser más económicos por unidad de capacidad.</p>	<p>-Los discos duros tienen una velocidad de acceso más lenta y un rendimiento general más bajo comparado con los SSD.</p> <p>- Mayor consumo de energía.</p> <p>-Mayor fragilidad.</p> <p>-Son más grandes y pesados en comparación con los SSD.</p> <p>-Pueden generar ruido durante su funcionamiento.</p>
<p>Almacenamiento en red (NAS)</p>	<p>-Capacidades más pequeñas: suelen comenzar en el rango de terabytes (TB), como 1 TB, 2 TB o 4 TB.</p> <p>-Capacidades medias: van desde 4 TB hasta 16 TB.</p> <p>-Capacidades de nivel empresarial: pueden variar desde 16 TB hasta varios petabytes (PB).</p>	<p>-Almacenamiento centralizado y compartido.</p> <p>-Permiten el acceso remoto.</p> <p>-Te permite realizar copias de seguridad automáticas de tus datos de forma regular.</p> <p>-Suelen ser fáciles de configurar y administrar, incluso para usuarios no técnicos.</p>	<p>-Rendimiento limitado en comparación con HDD y SSD.</p> <p>-Dependen de una red para su funcionamiento.</p>

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

En el mundo existen gran cantidad de fabricantes que ofrecen una variedad de servidores de borde con una gran capacidad de procesamiento de datos y de almacenamiento. Entre los equipos que se pudieron encontrar están:

2.4 Soluciones de procesamiento.

En el procesamiento de un nodo IoT, se utilizan diferentes variantes de hardware que permiten la conexión y el intercambio de datos entre los dispositivos conectados. Algunos de los componentes de hardware comunes utilizados en el procesamiento de nodos IoT incluyen microcontroladores, sensores, actuadores, tarjetas de desarrollo y módulos de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi y Bluetooth. Los microcontroladores son componentes clave en el procesamiento de nodos IoT, ya que permiten la recopilación y el procesamiento de datos de los sensores y la comunicación con otros dispositivos conectados. Los sensores y actuadores, por otro lado, permiten la medición y el control de variables físicas, como la temperatura, la humedad y la luz. Las tarjetas de desarrollo, como Raspberry Pi y Arduino, son plataformas populares para el desarrollo de soluciones IoT. Los módulos de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi y Bluetooth, permiten la conexión y la transmisión de datos entre los dispositivos conectados. En resumen, el procesamiento de un nodo IoT requiere una combinación de hardware y software para permitir la conexión, el procesamiento y la transmisión de datos entre los dispositivos conectados.

Raspberry Pi.

Este pequeño ordenador es una herramienta imprescindible para cualquier proyecto de IoT. Con la Raspberry Pi, puedes controlar dispositivos, recopilar datos y ejecutar aplicaciones complejas.

La Raspberry Pi es muy versátil y puede utilizarse para todo tipo de proyectos, desde la monitorización de la calidad del aire hasta la automatización del hogar. Con su procesador de cuatro núcleos, memoria RAM y conectividad WiFi, puedes ejecutar aplicaciones en tiempo real y enviar datos a la nube para su procesamiento.

La Raspberry Pi también tiene una gran cantidad de periféricos disponibles, como cámaras, pantallas y sensores, que puedes utilizar en tus proyectos. Entre las variantes de Raspberry Pi empleadas en el procesamiento del nodo IoT tenemos:

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

Raspberry Pi 3 Model B: Este modelo es ampliamente utilizado en proyectos de IoT debido a su potencia y versatilidad. Cuenta con un procesador de cuatro núcleos a 1.2 GHz, Wi-Fi integrado y Bluetooth, lo que lo hace ideal para aplicaciones de IoT que requieren conectividad inalámbrica.

Raspberry Pi Zero W: Esta variante es una versión compacta y económica de Raspberry Pi que incluye Wi-Fi y Bluetooth integrados. Es ideal para proyectos de IoT que requieren un factor de forma pequeño y bajo consumo de energía

Raspberry Pi 4 Model B: Esta es la versión más reciente de Raspberry Pi, que ofrece un rendimiento mejorado con un procesador de cuatro núcleos a 1.5 GHz, opciones de memoria RAM de hasta 8 GB y soporte para pantallas 4K. Es adecuada para proyectos de IoT que requieren un mayor rendimiento de procesamiento y capacidades multimedia

Arduino.

El Arduino es una plataforma de hardware libre y de bajo costo que utiliza un microcontrolador para interactuar con el mundo físico. Es muy utilizado en proyectos que requieren interacción en tiempo real con sensores y actuadores, como el control de robots, la domótica y la agricultura inteligente.

El Arduino también es muy versátil, ya que existen distintas versiones y modelos para diferentes tipos de proyectos. Por ejemplo, el Arduino UNO es ideal para proyectos pequeños y simples, mientras que el Arduino Mega es más adecuado para proyectos más grandes y complejos.

Además, el Arduino también cuenta con una gran variedad de periféricos, como sensores, pantallas, módulos de comunicación y actuadores, que puedes utilizar en tus proyectos. Estos periféricos se conectan al Arduino a través de sus pines GPIO y permiten interactuar con el mundo físico.

Entre las variantes de Arduino empleadas en el procesamiento del nodo IoT tenemos:

Arduino MKR WiFi 1010: Este modelo es ideal para aplicaciones de IoT que requieren conectividad inalámbrica. Cuenta con un módulo Wi-Fi de doble banda y bajo consumo de

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

energía, lo que lo hace adecuado para proyectos que necesitan conectividad inalámbrica en entornos de IoT.

Arduino MKR GSM 1400: Esta variante está diseñada para aplicaciones de IoT que requieren conectividad celular. Es ideal para proyectos que necesitan enviar datos a través de redes celulares, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de monitoreo remoto y seguimiento.

Arduino Nano 33 IoT: Esta variante es una placa compacta y de bajo consumo de energía que incluye conectividad Wi-Fi y Bluetooth de baja energía. Es ideal para aplicaciones de IoT que requieren un factor de forma pequeño y bajo consumo de energía.

Pycom.

Pycom es una empresa que proporciona módulos y plataformas de desarrollo para IoT, incluyendo el Pycom Z1, un módulo de IoT con procesador ARM cortocórico y soporte para comunicaciones 4G/LTE y Wi-Fi.

Entre los módulos más utilizados en el procesamiento IoT se encuentra:

Pycom FiPy: Esta placa de desarrollo es compatible con Wi-Fi, Bluetooth, LoRa y Sigfox, lo que la hace ideal para aplicaciones de IoT que requieren conectividad inalámbrica y de largo alcance.

Pycom GPy: Esta variante es compatible con Wi-Fi, Bluetooth y LTE-M/NB-IoT, lo que la hace adecuada para aplicaciones de IoT que requieren conectividad celular y de bajo consumo de energía.

Pycom L01: Esta variante es compatible con LoRa, LoRa MESH, Sigfox, Wi-Fi y Bluetooth, lo que la hace ideal para aplicaciones de IoT que requieren conectividad de largo alcance y de bajo consumo de energía.

SODAQ.

SODAQ es una empresa con una década de experiencia que lidera el desarrollo de hardware para IoT responsable y de bajo consumo energético para rastreo y sensores. Ofrece servicios de ingeniería para crear soluciones únicas, desde la concepción hasta la producción. Sus productos incluyen soluciones duraderas y alimentadas por energía solar para el seguimiento y la detección de IoT. SODAQ se especializa en abordar desafíos globales de la cadena de

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

suministro y proporciona soluciones de bajo consumo energético para empresas a nivel mundial. La empresa se fundó en 2012 y se destaca por su enfoque en hardware IoT alimentado por energía solar para implementaciones a nivel empresarial

Entre los módulos más utilizados en el procesamiento IoT se encuentra:

SODAQ SBC: Este SBC está diseñado para aplicaciones de IoT que requieren una solución completa y flexible. Es compatible con múltiples protocolos y estándares, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones.

SODAQ One: Este dispositivo de IoT es una plataforma completa que incluye un SBC integrado, una pantalla de táctil de alta sensibilidad y una batería de larga duración. Es ideal para aplicaciones de IoT que requieren una solución completa y flexible, como monitoreo remoto y control de múltiples dispositivos.

SparkFun.

SparkFun es una empresa líder en el desarrollo de electrónica y tecnología de Internet de las Cosas (IoT) en los Estados Unidos. Fundada en 2012, la compañía se especializa en la creación de kits y componentes de alta calidad para proyectos de electrónica y programación.

Algunas de sus variantes orientadas al procesamiento IoT se destacan:

SparkFun Redboard: Este kit de desarrollo es una plataforma basada en Arduino que incluye un procesador ATmega328, 256 MB de memoria flash y 16 MB de memoria RAM. Es ideal para proyectos de IoT que requieren un factor de forma pequeño y bajo consumo de energía.

SparkFun WifiDev Kit: Este kit de desarrollo incluye un módulo de Wi-Fi ESP32 con una potencia de 2 x 10 dBm y un procesador de 32 bits de precisión. Es ideal para aplicaciones de IoT que requieren conectividad inalámbrica y de bajo consumo de energía.

SparkFun SARA-R5 Starter Kit: Este kit proporciona todo lo necesario para conectar un dispositivo a AWS IoT Core a través de una red celular LTE-M. Es ideal para aplicaciones de IoT que requieren conectividad móvil y de bajo consumo de energía.

Espressif.

Espressif es una empresa china que se dedica a la creación y producción de microcontroladores de sistema en un chip (SoC) de bajo costo y bajo consumo de energía

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

con Wi-Fi integrado y Bluetooth de doble modo. La empresa fue fundada en 2008 y tiene su sede en Shanghai. Espressif es conocida por su serie de microcontroladores ESP8266 y ESP32, que son versátiles y se pueden utilizar en una amplia variedad de aplicaciones, desde proyectos de IoT hasta dispositivos conectados. Además, la empresa también ofrece soluciones de software y servicios para el desarrollo de aplicaciones.

Entre sus principales microcontroladores podemos encontrar:

ESP32-S Series: Esta serie de microcontroladores ofrece un procesador de 32 bits y conectividad Wi-Fi de 2.4 GHz. Estos microcontroladores son ideales para aplicaciones de IoT que requieren conectividad inalámbrica y un alto rendimiento de procesamiento.

ESP32-S2 Series: Estos microcontroladores ofrecen un procesador de 32 bits y conectividad Wi-Fi de 2.4 GHz. Son ideales para aplicaciones de IoT que requieren un alto rendimiento de procesamiento y conectividad inalámbrica.

ESP32-S3 Series: Esta serie de microcontroladores ofrece un procesador de 32 bits, conectividad Wi-Fi de 2.4 GHz y Bluetooth 5 (LE). Son ideales para aplicaciones de IoT que requieren un alto rendimiento de procesamiento y conectividad inalámbrica avanzada.

Estos microcontroladores son ampliamente utilizados en proyectos de IoT debido a su alto rendimiento, bajo consumo de energía y amplia gama de opciones de conectividad. Cada variante tiene sus propias características y capacidades, lo que permite a los desarrolladores seleccionar la más adecuada para sus aplicaciones específicas.

Particle.

Particle es una plataforma como servicio (PaaS) que facilita la creación de productos conectados para acelerar el crecimiento, optimizar operaciones y transformar industrias enteras. Ofrece software, conectividad y hardware de IoT integrados en una sola plataforma, lo que permite conectar productos sin preocuparse por problemas de seguridad, escalabilidad o conectividad. Además, Particle es reprogramable y reconfigurable, lo que permite el desarrollo de aplicaciones personalizadas para casos de uso específicos. La empresa es conocida por ser un socio confiable para más de 270,000 desarrolladores en todo el mundo, y es considerada un estándar de la industria para soluciones de IoT. Su enfoque en la

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

innovación y la creación de soluciones de valor la ha posicionado como un catalizador para empresas orientadas al futuro en la búsqueda de oportunidades de crecimiento, mejora de experiencias de cliente y ventajas competitivas.

Entre los productos orientados al procesamiento IoT encontramos una gran variedad, dentro de ellos se destacan:

Particle Boron: Esta placa de desarrollo habilitada para LTE está diseñada para el desarrollo de IoT celular. Cuenta con un microcontrolador ARM Cortex, conectividad LTE y es adecuada para la creación de productos de IoT que requieren conectividad celular.

Particle Argon: Esta placa de desarrollo habilitada para Wi-Fi y Mesh está diseñada para la creación de proyectos conectados. Cuenta con un microcontrolador ARM Cortex, conectividad Wi-Fi y Mesh, y es adecuada para aplicaciones de IoT que requieren conectividad de red local.

Particle Xenon: Esta placa de desarrollo habilitada para Mesh está diseñada para la creación de redes locales de dispositivos IoT. Cuenta con un microcontrolador ARM Cortex y capacidades de red Mesh, lo que la hace adecuada para aplicaciones de IoT que requieren conectividad de dispositivo a dispositivo en red local.

Estas variantes de Particle ofrecen una variedad de opciones de conectividad, desde celular hasta Wi-Fi y Mesh, atendiendo a diversos requisitos de aplicaciones de IoT. El hardware de Particle está integrado con su Plataforma como Servicio (PaaS) de IoT, proporcionando una solución integral para la creación, conexión y gestión de dispositivos IoT.

Tabla 4. Comparación entre soluciones de procesamiento en el nodo.

Hardware	Ventajas	Desventajas	Plataformas IoT donde se emplean
Raspberry Pi	<ul style="list-style-type: none"> -Costo asequible. -Tamaño compacto. -Versatilidad. -Gran comunidad y soporte. -Facilidad de uso. -Conectividad. -Potencia de procesamiento 	<ul style="list-style-type: none"> -Rendimiento limitado. -Limitaciones de memoria. -Almacenamiento limitado. -Falta de interfaces estándar. -Limitaciones de potencia. 	AWS IoT, Azure IoT, Google Cloud IoT, IBM Watson IoT, OpenIoT, ThingsBoard y Node-RED.
Arduino	<ul style="list-style-type: none"> -Fácil de usar -Amplia comunidad y soporte. 	<ul style="list-style-type: none"> -Limitaciones de potencia de procesamiento. 	IBM Watson IoT Platform, Microsoft Azure IoT, Particle,

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

	<ul style="list-style-type: none"> -Abundancia de shields y módulos. -Amplia compatibilidad con sensores y actuadores. -Bajo costo. -Versatilidad y flexibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> -Capacidad de almacenamiento limitada. -Falta de conectividad integrada. -Escalabilidad limitada. -Falta de robustez industrial. 	AWS IoT Core y Google Cloud IoT Core.
Pycom	<ul style="list-style-type: none"> -Versatilidad -Eficiencia energética. -Comunidad activa. -Prototipado rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los productos de Pycom pueden tener un costo más alto en comparación con otras alternativas de hardware para IoT. -Limitaciones de hardware. -El soporte técnico de Pycom puede ser irregular o insatisfactorio en comparación con otras empresas. -La documentación oficial puede ser limitada o no estar actualizada. 	Microsoft Azure IoT Suite, Google Cloud's IoT, IBM Watson IoT, AWS IoT, ThingSpeak, Node Red y ThingsBoard.
SODAQ	<ul style="list-style-type: none"> -SODAQ utiliza un enfoque modular en el diseño de sus placas. -Los productos de SODAQ están diseñados para ser eficientes en términos de consumo de energía. -Las placas de SODAQ son compatibles con diferentes tecnologías de conectividad. -Programación sencilla. -Presenta un buen soporte técnico. 	<ul style="list-style-type: none"> -Disponibilidad limitada. -Menor variedad de productos -Menos documentación y recursos. 	Node-RED y ThingsBoard.
SparkFun	<ul style="list-style-type: none"> -Amplia selección de productos. -Enfoque en la educación y la comunidad. -Soporte y documentación de alta calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los productos de SparkFun pueden tener precios más altos en comparación con otros proveedores de componentes electrónicos. -Disponibilidad limitada. -Soporte técnico limitado. 	Particle, AWS IoT, Google Cloud IoT, Microsoft Azure IoT, Kaa y ThingSpeak.
Espressif	<ul style="list-style-type: none"> -Potencia y rendimiento. -Conectividad inalámbrica. -Espressif ofrece una documentación completa y actualizada. -Costo asequible. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los microcontroladores de Espressif pueden tener limitaciones de memoria. -Pueden consumir más energía en comparación con otros microcontroladores de baja potencia. 	AWS IoT, Google Cloud IoT, Microsoft Azure IoT, IBM Watson IoT y Node-RED.

Capítulo II. Plataformas IoT para edificios inteligentes.

2.5 Conclusiones Parciales.

Las plataformas IoT-MEC, tales como Microsoft Azure IoT Suite, Google Cloud's IoT Platform, NodeMCU y Node Red, representan una manera emocionante de mejorar la eficiencia y velocidad de respuesta de los nodos IoT. Lo logran al proporcionar capacidades de procesamiento y almacenamiento directamente en los dispositivos IoT en lugar de depender únicamente de recursos en la nube. Además, la combinación del Almacenamiento en Red (NAS) y las Matrices RAID ayuda a mejorar la seguridad y disponibilidad de la información, ya que mantiene los datos más cercanos a su origen. Por último, las soluciones que realizan el procesamiento de la información de forma descentralizada (en el borde) ofrecen flexibilidad para adaptarse a las necesidades específicas de cada situación. Ejemplos de estas soluciones son Raspberry Pi, Arduino y Particle. Cuando todas estas tecnologías trabajan juntas, proporcionan un enfoque completo para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los nodos IoT. Este enfoque tiene un impacto significativo en la exitosa implementación de aplicaciones IoT en una amplia gama de sectores.

Capítulo III. Servicios y aplicaciones para un edificio inteligente.

3 Capítulo III. Servicios y aplicaciones para un edificio inteligente.

En este capítulo se muestran varios ejemplos de servicios en un edificio inteligente, tales como video vigilancia, detección de presencia, control de iluminación y detección de incendios. Para ello se utilizó la herramienta Packet Tracer de Cisco.

3.1 Descripción general de la red de la FIE.

Debido a que la topología de la red existente en el edificio docente de la FIE no cumplía con los requisitos necesarios para convertirse en una red de un edificio inteligente, fue necesario rediseñarla. El nuevo diseño se basó en una topología en forma de estrella, con un nodo central y un nodo dedicado para cada piso. Estos nodos se interconectaron de tal manera que, si alguna conexión fallaba, no afectaría la conectividad general.

Además, se implementaron switches distribuidos en cada piso para facilitar la conectividad y se utilizaron puntos de acceso (AP) para garantizar una conexión sólida para los dispositivos de Internet de las cosas (IoT). Entre los dispositivos IoT utilizados se incluyeron cámaras de video vigilancia, detectores de presencia, detectores de humo, iluminación inteligente y aspersores de agua contra incendios. Cada uno de estos dispositivos desempeñó un papel importante en el correcto funcionamiento del edificio.

3.1.1 Video vigilancia y detección de presencia:

En este ejemplo, se implementó un sistema de vigilancia y detección de presencia utilizando cámaras IP inalámbricas distribuidas por todo el edificio. El objetivo principal era supervisar y controlar la actividad del personal docente y administrativo, así como la incursión no autorizada de alguna otra persona al edificio. Además de las cámaras, se utilizaron detectores de presencia inalámbricos.

El funcionamiento de este servicio es el siguiente: cuando se activa un detector de presencia, ya sea debido a la presencia de personal o a algún problema específico en ese momento, se encienden las cámaras ubicadas en la zona correspondiente. Estas cámaras se mantienen encendidas hasta que dejan de detectar movimiento, lo que permite un uso más eficiente de la energía en el edificio, reduciendo así el consumo innecesario.

Capítulo III. Servicios y aplicaciones para un edificio inteligente.

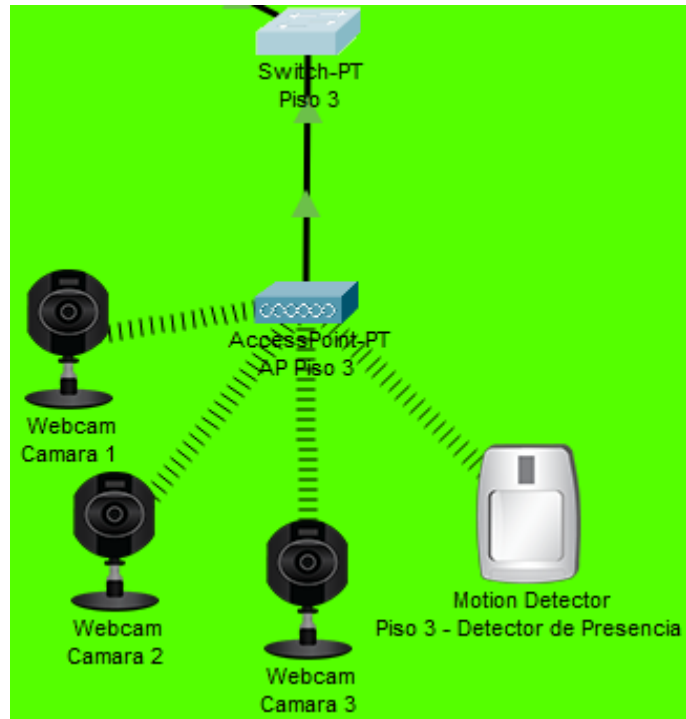


Fig. 3.1. Servicio de Video vigilancia y detección de presencia

3.1.2 Control de la iluminación.

En este escenario, se implementó un sistema de control de iluminación utilizando detectores de presencia. Estos sensores están diseñados para detectar la presencia de personas y, en función de esa detección, controlar el encendido y apagado de las luces en el edificio. Cuando se detecta la presencia humana, los sensores activan automáticamente las luces en el área correspondiente. Del mismo modo, cuando ya no se detecta ninguna presencia, las luces se apagan o se reduce su intensidad lumínica.

El objetivo principal de este servicio es lograr un ahorro de energía en el edificio. Al encender las luces solo cuando se necesitan, en respuesta a la presencia de personas, se evita el consumo innecesario de energía. Además, al apagar o reducir la intensidad lumínica cuando no hay presencia, se optimiza aún más el uso de la energía.

Capítulo III. Servicios y aplicaciones para un edificio inteligente.

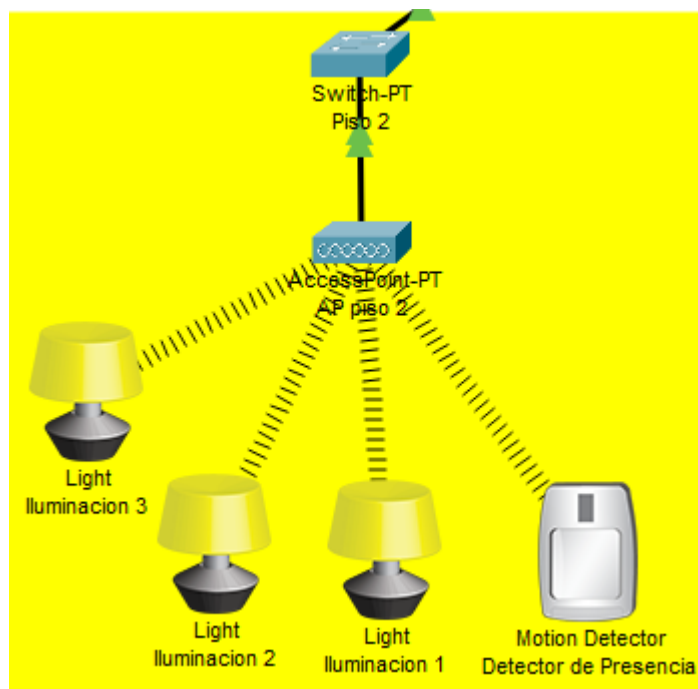


Fig. 3.2. servicio de Control de la iluminación

3.1.3 Detección de incendios.

En este caso, se implementó un sistema de detección de incendios utilizando detectores de humo, sirenas de alarma y aspersores de agua ubicados en el techo. El objetivo principal de este sistema es alertar al personal del edificio sobre la presencia de humo o un incendio, y proporcionar los medios para extinguir el fuego y evacuar de manera segura.

Cuando se detecta humo o un pequeño incendio, los detectores de humo activarán las alarmas de todo el edificio, generando una señal de alerta para el personal. Al mismo tiempo, se activarán los aspersores de agua ubicados en el piso o área donde se detectó el incendio. Estos aspersores de agua están diseñados para extinguir el fuego de manera efectiva y rápida.

Este servicio es de vital importancia, ya que no solo se enfoca en la extinción del fuego, sino también en la protección de las vidas del personal docente y administrativo del edificio. Al proporcionar una detección temprana y una respuesta inmediata, se brinda la oportunidad de evacuar a las personas de manera segura antes de que el incendio se propague o represente un peligro mayor.

Capítulo III. Servicios y aplicaciones para un edificio inteligente.

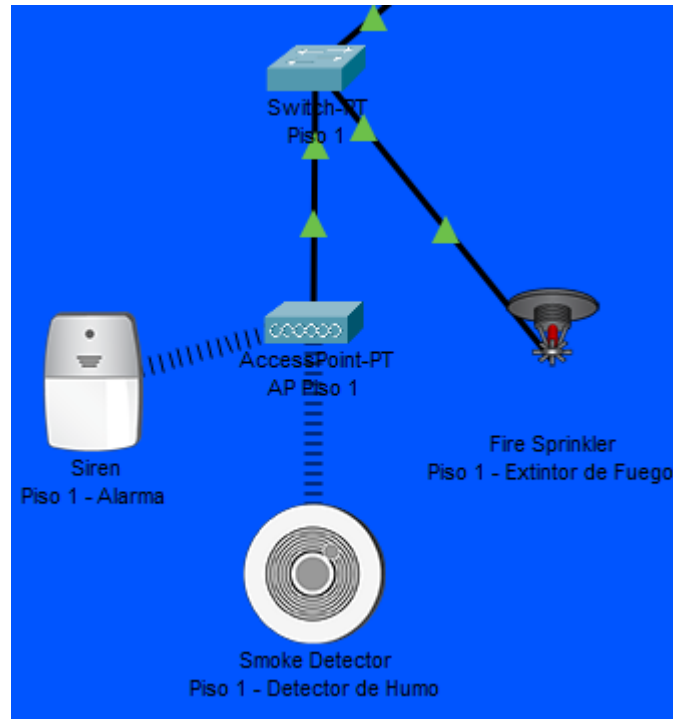


Fig. 3.3. Servicio de Detección de incendios.

Conclusiones.

Conclusiones.

En esta investigación, se llevaron a cabo análisis, evaluaciones y simulaciones exhaustivas con el objetivo de explorar el desarrollo y la aplicación de las tecnologías MEC y su integración con IoT en un contexto de edificio docente inteligente y sostenible. A partir de los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El análisis del desarrollo alcanzado por las tecnologías MEC y su integración con la IoT reveló avances significativos en términos de capacidades de computación y almacenamiento en el borde de la red ofreciendo beneficios notables, como la reducción de la latencia, el ahorro de ancho de banda y la mejora en la eficiencia de las aplicaciones IoT.
- A la hora de seleccionar una plataforma IoT basándose en los criterios de selección se pudo demostrar que Google Cloud's IoT Platform, Microsoft Azure IoT Suite, NodeMCU y Node Red ofrecen un mejor desempeño y análisis de datos.
- La evaluación de soluciones de almacenamiento en el borde de la red se demostró que el Almacenamiento en red (NAS) junto con las Matrices RAID son una de las mejores opciones para almacenar la información.
- En la evaluación de soluciones de procesamiento de la información para el nodo IoT del edificio docente de la FIE se logró identificar distintas alternativas, como el Raspberry Pi 3 Model B, Arduino MKR WiFi 1010 y Particle Xenon los cuales presentan altas capacidades de procesamiento y desempeño en proyectos IoT.
- La simulación y evaluación de diferentes servicios y aplicaciones proporcionaron una base sólida para la implementación de aplicaciones prácticas en entornos reales.

Recomendaciones.

- Se deben desarrollar todos los servicios en una plataforma para su evaluación.

Bibliografía.

Bibliografía.

- [1] L. Chettri y R. Bera, «A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems», *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, n.º 1, pp. 16-32, ene. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2019.2948888.
- [2] Q. Fan y L. Liu, «A Survey of Challenging Issues and Approaches in Mobile Cloud Computing», en *2016 17th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT)*, dic. 2016, pp. 87-90. doi: 10.1109/PDCAT.2016.032.
- [3] «gs_MEC003v030101p.pdf». Accedido: 16 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/03.01.01_60/gs_MEC003v030101p.pdf
- [4] «A Survey on Security and Privacy of 5G Technologies: Potential Solutions, Recent Advancements, and Future Directions | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore». Accedido: 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8792139>
- [5] B. Blanco *et al.*, «Technology pillars in the architecture of future 5G mobile networks: NFV, MEC and SDN», *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 54, ene. 2017, doi: 10.1016/j.csi.2016.12.007.
- [6] S. Dredge, «What is Multi-access Edge Computing (MEC)?» Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-multi-access-edge-computing-mec>
- [7] «¿Qué es la computación de borde de acceso múltiple? | Juniper Networks». Accedido: 21 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.juniper.net/mx/es/research-topics/what-is-multi-access-edge-computing.html>
- [8] E.-L. Specialist, «Plataforma e-learning: 6 características imprescindibles | CAE», CAE Computer Aided E-learning. Accedido: 21 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cae.net/es/6-caracteristicas-imprescindibles-de-una-plataforma-e-learning/>
- [9] P. Porambage, J. Okwuibe, M. Liyanage, M. Ylianttila, y T. Taleb, «Survey on Multi-Access Edge Computing for Internet of Things Realization», *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 20, n.º 4, pp. 2961-2991, 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2849509.
- [10] F. Bonomi, R. Milito, P. Natarajan, y J. Zhu, «Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics», en *Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments*, N. Bessis y C. Dobre, Eds., en *Studies in Computational Intelligence.*, Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 169-186. doi: 10.1007/978-3-319-05029-4_7.
- [11] «MEC Deployments in 4G and Evolution Towards 5G».
- [12] «gs_MEC011v010101p.pdf». Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/011/01.01.01_60/gs_MEC011v010101p.pdf
- [13] «Acerca de Watson IoT Platform». Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cloud.ibm.com/docs/cloud.ibm.com/docs/iot>

Bibliografía.

- [14] M. A. A. Tello y F. C. Velásquez, «DISEÑO DE UN ESQUEMA DE INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS IOT DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD ELECTRÓNICA».
- [15] «Google Cloud IoT Overview», GetApp. Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.getapp.com/emerging-technology-software/a/google-cloud-iot/>
- [16] «Google Cloud IoT: Servicios de IoT completamente administrados», Google Cloud. Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/solutions/iot?hl=es-419>
- [17] P. Mell y T. Grance, «The NIST Definition of Cloud Computing».
- [18] «Qué es Azure: Servicios en la nube de Microsoft | Microsoft Azure». Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-azure>
- [19] «TFM_OSCAR_MORENO_SANCHEZ.pdf». Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/48108/9/TFM_OSCAR_MORENO_SANCHEZ.pdf
- [20] Ó. Moreno Sánchez, «IoT con servicios en la nube de Microsoft Azure : diseño y despliegue de una arquitectura IoT para el análisis de datos en tiempo real», masters, E.T.S.I de Sistemas Informáticos (UPM), 2017. Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/48108/>
- [21] P. P. Ray, «A survey of IoT cloud platforms», *Future Comput. Inform. J.*, vol. 1, n.º 1, jun. 2020, [En línea]. Disponible en: <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/fcij/vol1/iss1/4>
- [22] G. Vossen, F. Schönthaler, y S. Dillon, *The Web at Graduation and Beyond: Business Impacts and Developments*. Springer International Publishing, 2018.
- [23] «► Enterprise IoT Platform with Free Plan | Kaa», Kaa IoT platform. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.kaaiot.com>
- [24] N. Imtiaz Jaya y Md. F. Hossain, «A Prototype Air Flow Control System for Home Automation Using MQTT Over Websocket in AWS IoT Core», en *2018 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)*, oct. 2018, pp. 111-1116. doi: 10.1109/CyberC.2018.00032.
- [25] I. Rihawi, «Explorando la nube de AWS para el universo IoT», Telefónica Tech. Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://telefonicatech.com/blog/explorando-la-nube-de-aws-para-el-universo-iot>
- [26] B. Nakhuva y T. Champaneria, «Study of Various Internet of Things Platforms», *Int. J. Comput. Sci. Eng. Surv.*, vol. 6, pp. 61-74, dic. 2015, doi: 10.5121/ijcses.2015.6605.
- [27] «Top 11 Cloud Platforms for Internet of Things (IoT) - DZone», dzone.com. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dzone.com/articles/10-cloud-platforms-for-internet-of-things-iot>
- [28] «OpenIoT - La Internet de las Cosas de código abierto». OpenIoT FP7 Project, 23 de octubre de 2023. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/OpenIoTOrg/openiot>
- [29] N. C. Marcet y G. M. Pinzón, «IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE PLATAFORMAS EN LA NUBE PARA SERVICIOS DE IoT».
- [30] «ThingSpeak». Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/products/thingspeak.html>

Bibliografía.

- [31] M. Henschke, X. Wei, y X. Zhang, «Data Visualization for Wireless Sensor Networks Using ThingsBoard», en *2020 29th Wireless and Optical Communications Conference (WOCC)*, may 2020, pp. 1-6. doi: 10.1109/WOCC48579.2020.9114929.
- [32] S. Amir Alavi, A. Rahimian, K. Mehran, y J. Mehr Ardestani, «An IoT-Based Data Collection Platform for Situational Awareness-Centric Microgrids», en *2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE)*, may 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/CCECE.2018.8447718.
- [33] L. T. De Paolis, V. De Luca, y R. Paiano, «Sensor data collection and analytics with thingsboard and spark streaming», en *2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, jun. 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/EESMS.2018.8405822.
- [34] M. Chakraborty y A. P. Kundan, «Grafana», en *Monitoring Cloud-Native Applications: Lead Agile Operations Confidently Using Open Source Software*, M. Chakraborty y A. P. Kundan, Eds., Berkeley, CA: Apress, 2021, pp. 187-240. doi: 10.1007/978-1-4842-6888-9_6.
- [35] J. García Fernández, «Desarrollo de un dispositivo IoT para la adquisición de medidas ambientales», bachelorThesis, 2019. Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/689074>
- [36] «IoT Dashboard - Sensores, MQTT, Telegraf, InfluxDB y Grafana». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://josejuansanchez.org/iot-dashboard/>
- [37] M. A. Moral-Pérez, «Node-RED como herramienta visual de dispositivos IoT», dic. 2021, Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/15335>
- [38] «Sistema de monitorización IoT de datos de una bomba de agua para su mantenimiento predictivo - Repositorio Institucional de Documentos». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://zagan.unizar.es/record/96574>
- [39] S. García Jiménez, «Desarrollo de paneles de control para redes IoT basados en NodeRed», Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València, 2019. Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/114979>
- [40] slange, «Internet de las cosas - Arquitectura . IOT-A: Internet de la arquitectura de las cosas». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iot-a.eu/public/front-page>
- [41] L. Hang y D.-H. Kim, «Design and Implementation of IoT Interworking of Anchor Service Provider and Mobius Platform Using RESTful API», *Int. J. Control Autom.*, vol. 10, n.º 10, pp. 101-112, oct. 2017, doi: 10.14257/ijca.2017.10.10.09.
- [42] L. Hang y D.-H. Kim, «A Study of IoT Internetworking between Sensor Provider and Mobius Platform», dic. 2016, pp. 178-180. doi: 10.14257/astl.2016.141.37.
- [43] H. Hejazi, H. Rajab, T. Cinkler, y L. Lengyel, «Survey of platforms for massive IoT», en *2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT)*, ene. 2018, pp. 1-8. doi: 10.1109/FIOT.2018.8325598.
- [44] AVSystem, «How to Choose the Best IoT Platform», IoT For All. Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.avsystem.com/blog/how-to-choose-best-iot-platform/>
- [45] M. Gigli y S. Koo, «Internet of Things: Services and Applications Categorization», *Adv. Internet Things*, vol. 1, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2011, doi: 10.4236/ait.2011.12004.

Bibliografía.

- [46] «Evaluating and Choosing an IoT Platform [Book]». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.oreilly.com/library/view/evaluating-and-choosing/9781491975596/>
- [47] A. Ismail, H. Hamza, y A. Kotb, «Performance Evaluation of Open Source IoT Platforms», dic. 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/GCIoT.2018.8620130.
- [48] «Making sense of Internet of Things platforms | McKinsey». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/making-sense-of-internet-of-things-platforms>

Anexos.

Anexos

Anexo 1. Beneficios de MEC e IoT para cada aplicación.

Características requeridas de MEC y IoT	Descripción	Smart Home	Smart City	Autonomous Vehicles	Augmented Reality (AR)	Virtual Reality (VR)	Smart Energy
Baja Latencia	optimizar para procesar un volumen muy alto de mensajes de datos con un retraso mínimo		✓	✓	✓	✓	✓
Aumentó Ancho de banda	Capacidad para mover una gran cantidad de datos rápidamente	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Conciencia de contenido	Adaptación de las características de la red según los requisitos de los servicios locales.	✓	✓		✓	✓	✓
Dispositivos de baja potencia	Soporte para dispositivos de baja potencia que tienen potencias de transmisión limitadas.			✓	✓	✓	✓
Soporte inalámbrico fijo	Operación de sistemas inalámbricos utilizados para conectar dos ubicaciones	✓	✓		✓		✓

Anexos.

	fijas con un enlace inalámbrico.						
Almacenamiento en caché	Mantener la información a la que se accede con frecuencia en un lugar cercano al solicitante	✓	✓		✓	✓	
Análisis de borde	Se realiza un cálculo analítico automatizado sobre los datos en un sensor, conmutador de red u otro dispositivo en lugar de esperar a que los datos se envíen a un almacén de datos centralizado.	✓	✓		✓	✓	
Virtualización de aplicaciones entre el borde y la nube	Migración de aplicaciones y servicios bajo demanda desde la nube centralizada a la nube perimetral		✓	✓	✓	✓	✓
Red privada o local	Limitar la comunicación y los intercambios de datos a un determinado	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Anexos.

	segmento de red.						
Seguridad	Proporcionar seguridad localizada		✓		✓		✓
Privacidad	Proporcionar privacidad localizada		✓	✓	✓		
Movilidad rápida	Habilita la capacidad de moverse o ser movido rápidamente dentro del		✓	✓	✓		✓