

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

**CREACIÓN DE UN PROTOTIPO ENFOCADO A LA
GESTIÓN DE EDIFICIOS INTELIGENTES**

**METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE EDIFICIOS
INTELIGENTES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
SOFTWARE**

DAMIÁN JOSUÉ SUÁREZ GARCÍA

damian.suarez@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARCO POLO SANCHEZ AGUAYO

marco.sanchez01@epn.edu.ec

Quito, agosto 2024

CERTIFICACIONES

Yo, DAMIÁN JOSUÉ SUÁREZ GARCÍA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

DAMIÁN JOSUÉ SUÁREZ GARCÍA
ESTUDIANTE

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por DAMIÁN JOSUÉ SUÁREZ GARCÍA, bajo mi supervisión.

ING. MARCO POLO SANCHEZ AGUAYO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DAMIÁN JOSUÉ SUÁREZ GARCÍA

ING. MARCO POLO SANCHEZ AGUAYO

ANDREA FERNANDA GARCES PROANO

WILLIAN JACOB RIVERA MERA

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, porque su voluntad ha sido esta. Nunca me consideré cualificado para su servicio, y pese a ello, Él abrió las puertas, creyó en mí y sigue creyendo en mí, llevándome por un camino universitario poco ortodoxo. Su presencia ha estado en los momentos más críticos, y su gloria y respaldo se manifiestan día a día.

A mi papá, Patricio Suarez, cuyo arduo trabajo me ha proporcionado siempre un plato de comida y la provisión para toda mi familia, y quien se ha hecho cargo en los momentos de adversidad.

A mi mamá, Rita García, que cuando llegué al límite de mis capacidades y dije que ya no podía más, me dijo que sería padre y madre para mí, y que sin importar lo que pasara, siempre estaría allí. Ella siempre me escucha, me anima, me inspira y ora por mí, permitiéndome atravesar mis limitaciones.

A mi hermano mayor, Jonathan Suarez, quien me dirigió con sabiduría para seleccionar esta carrera y por el conocimiento que me ha compartido en tantas charlas valiosas.

A mi hermana, Genesis Suarez, que siempre fue una inspiración por su dedicación para que las cosas salgan de manera excelente.

Finalmente, a mi mejor amigo, Jorge Cordero, quien fue mi guía turístico en esta universidad y me ha acompañado de cerca en este camino. Su compañía y apoyo han sido invaluable.

AGRADECIMIENTOS

Primero, agradezco a Dios, cuya guía y amor me han sostenido en este camino. Derramando sobre mi sabiduría e inteligencia.

A mi familia, por su amor incondicional y constante apoyo.

A mis compañeros de tesis, Andrea Fernanda Garcés Proaño y Willian Jacob Rivera Mera, por su colaboración, esfuerzo y dedicación en este proyecto. Su trabajo en equipo ha sido fundamental para alcanzar nuestros objetivos.

Agradezco profundamente a mi tutor de tesis, el Profesor Marco Polo Sánchez Aguayo, por su orientación, paciencia y valiosos consejos a lo largo de este proyecto. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

Asimismo, quiero extender un especial agradecimiento al Profesor Victor Vicente Velepucha Bonett, quien siempre estuvo dispuesto a atender mis dudas sobre diversos temas. A pesar de sus compromisos, siempre se tomaba el tiempo para explicarme cada detalle de manera excelente, demostrando una dedicación y paciencia incomparables.

A mis compañeros y amigos de la universidad, quienes con su presencia y apoyo han hecho de este viaje una experiencia enriquecedora y memorable.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, han contribuido a mi formación académica y personal. A todos ustedes, muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del componente desarrollado	1
1.2 Objetivo General	2
1.3 Objetivos Específicos	2
1.4 Alcance	3
1.5 Marco teórico	3
1.5.1 Gestión de Edificios Inteligentes	3
1.5.2 Digital Twins	4
1.5.3 Simulación de Edificios Inteligentes	6
1.5.4 OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) en Ecuador	7
2 METODOLOGÍA	9
2.1 Fase de Concepción	12
2.1.1 Objetivos y Requisitos	12
2.1.2 Suposiciones y Limitaciones	13
2.2 Fase de Preparación	14
2.2.1 Recolección de información	15
2.2.2 Especificación de Recursos	15
2.2.3 Escenario de Simulación	16
2.3 Fase de Implementación	17
2.3.1 Desarrollo del Sistema con Digital Twins	32
2.3.2 Implementación de la funcionalidad del Dashboard	34
2.3.3 Validación y Pruebas	35
2.4 Fase Operativa y de Producción Real	36

2.4.1	Capacitación y Implementación	36
2.5	Fase de Evaluación	38
2.5.1	Análisis y Mejora	38
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
3.1	Resultados	41
3.1.1	Interacción de Dispositivos IoT	41
3.1.2	Visualización y Gestión en el Dashboard	42
3.1.3	Eficiencia Energética y Optimización Operativa	44
3.1.4	Discusión de Unity, Firebase y Blender	45
3.2	Conclusiones	46
3.3	Recomendaciones	46
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
5	ANEXOS	I
	ANEXO I: Encuesta	I
	ANEXO II: Resultados de la encuesta	IV
	ANEXO III: Enlace al repositorio	VII

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Diferentes sistemas dentro del alcance de un edificio inteligente.	4
1.2	Componentes de Digital Twins.	6
2.1	Metodología para desarrollar simulación con digital twins	12
2.2	Arquitectura del proyecto	18
2.3	Plano Arquitectónico del tercer piso de la FIS de la EPN	19
2.4	Elemento modelado en Blender	20
2.5	Modelos creados con Blender	20
2.6	Assets de Unity Asset Store	20
2.7	Modelos descargados	21
2.8	Estructura de la Simulación	21
2.9	Plano arquitectónico en 3D	22
2.10	Materiales de la Simulación	22
2.11	Simulación del Aula	37
2.12	Aula Real	37
2.13	Simulación del Pasillo	37
2.14	Pasillo Real	37
2.15	Simulación del Baño	37
2.16	Baño Real	37
2.17	Simulación Interacción Led	38
2.18	Simulación Interacción Switch Plug	38
2.19	Simulación Interacción Switch Light	38
3.1	Visualización en el Dashboard	42
3.2	Visualización en la página de dispositivos en tiempo real	42
3.3	Visualización de los dispositivos en tiempo real en la simulación	43
1	Encuesta pag 1	II
2	Encuesta pag 2	III
3	Resultados de la Encuesta pag 1	IV
4	Resultados de la Encuesta pag 2	V
5	Resultados de la Encuesta Power BI pag 1	VI
6	Resultados de la Encuesta Power BI pag 2	VI

ÍNDICE DE CUADROS

3.1 Interacción de Dispositivos IoT	41
3.2 Eficiencia Energética en la Simulación Sin Automatización Mensual	44
3.3 Eficiencia Energética en la Simulación Automatizada Mensual	44

RESUMEN

Este proyecto integrador desarrolló un prototipo para la gestión de edificios inteligentes, con el objetivo de optimizar el control y monitoreo de diversos sistemas dentro de un edificio. Realizado por DAMIÁN JOSUÉ SUÁREZ GARCÍA como parte de los requisitos para obtener el título de Ingeniero en Software en la Escuela Politécnica Nacional, se enfocó en la implementación de tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia energética y el confort de los usuarios.

El prototipo desarrollado se basa en una metodología que integra diferentes componentes tecnológicos para la gestión inteligente de edificios, permitiendo una interacción eficaz entre ellos. A través de encuestas realizadas a usuarios y expertos en el área, se recopiló datos relevantes que contribuyeron al diseño y la implementación del prototipo.

Este trabajo representa un aporte significativo al campo de la ingeniería de software, al ofrecer una solución práctica y eficiente para la gestión de edificios inteligentes. Se espera que este prototipo sirva como base para futuras investigaciones y desarrollos en el ámbito de la automatización y la optimización de edificios.

PALABRAS CLAVE: gestión de edificios inteligentes, eficiencia energética, confort, prototipo, tecnologías innovadoras.

ABSTRACT

This integrative project developed a prototype for smart building management, aiming to optimize the control and monitoring of various systems. Conducted by DAMIÁN JOSUÉ SUÁREZ GARCÍA as part of the requirements for obtaining a degree in Software Engineering at the Escuela Politécnica Nacional, the project focused on implementing innovative technologies to enhance energy efficiency and user comfort.

The developed prototype is based on a methodology that integrates different technological components for intelligent building management, enabling effective interaction among them. Relevant data collected through surveys from users and experts in the field contributed to the design and implementation of the prototype.

This work represents a significant contribution to the field of software engineering by providing a practical and efficient solution for smart building management. It is expected that this prototype will serve as a foundation for future research and developments in the automation and optimization of buildings.

KEYWORDS: smart building management, energy efficiency, comfort, prototype, innovative technologies.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo para la gestión de edificios inteligentes, utilizando una simulación que modela la interacción de elementos en la gestión energética y automatización. El panel de control recolecta datos de dispositivos IoT mediante tecnologías avanzadas como Unity, Tuya y Firebase. Para su desarrollo, se ha llevado a cabo una revisión de la literatura sobre edificios inteligentes y se han consultado fuentes de empresas constructoras, utilizando la metodología Action Research (Investigación-Acción). El dashboard se estructura en torno a KPIs, los cuales se establecen basándose en estudios previos, de las encuestas realizadas en el sector de la construcción.

Este componente del proyecto explora la creación de un prototipo de simulación complementaria para la gestión de edificios inteligentes, empleando las siguientes tecnologías avanzadas como Unity, Tuya, y Firebase. Tuya ofrece una integración eficiente de dispositivos IoT [1], mientras que Firebase facilita la extracción y almacenamiento de información de estos dispositivos, permitiendo un manejo dinámico y en tiempo real de los datos [2]. Por su parte, Unity es crucial por su capacidad para desarrollar visualizaciones tridimensionales detalladas, elemento esencial para una evaluación precisa del desempeño energético y la interactividad del usuario [3].

Además, se hará uso del dashboard que visualiza datos basados en KPIs estratégicos obtenido del componente "Identificación de KPI y pruebas de funcionalidad, usabilidad y seguridad"[4], permitiendo a los administradores de edificios monitorear y gestionar de manera efectiva tanto los dispositivos IoT de un edificio simulado como los dispositivos IoT reales. Este sistema avanzado de gestión, que opera con datos cercanos a la realidad, optimiza significativamente la eficiencia operativa y energética del edificio. Al proporcionar un acceso constante y detallado a la información clave, el dashboard mejora la capacidad de toma de

decisiones y refuerza el control sobre los recursos energéticos y operativos, contribuyendo a una operación más sostenible y eficiente del edificio.

Para modelar el edificio con dispositivos IoT ubicados estratégicamente, se aplica una metodología de implementación adaptada con un enfoque en "digital twins". Este enfoque se refuerza con un estudio que demuestra la profundidad y aplicabilidad de los "digital twins", en entornos industriales [5]. Además, la aplicación de la realidad virtual para apoyar procesos educativos en contextos industriales facilita la formación en escenarios complejos de manera segura y controlada, lo cual es crucial para la capacitación en ambientes de alta tecnología como los que propone la Industria 4.0 [6].

Este documento tiene como propósito explorar la implementación de estas tecnologías avanzadas en la creación de una simulación de un edificio inteligente. El objetivo es desarrollar un escenario que no solo demuestre la viabilidad técnica y económica de la solución propuesta, sino que también contribuya a un entorno construido más sostenible y eficiente.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y validar una simulación avanzada para la gestión de edificios inteligentes, integrando tecnologías como Unity, Tuya.com, y Firebase, para analizar y gestionar datos en tiempo real de dispositivos IoT mediante un dashboard de control. Este enfoque utilizará una metodología de "digital twins", adaptada para simular con precisión el funcionamiento de los componentes del edificio, permitiendo evaluar críticamente y optimizar la eficiencia operativa y energética, y así mejorar las estrategias de gestión y mantenimiento a largo plazo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar una plataforma de simulación en Unity, integrando Tuya y Firebase, para la recolección de datos de dispositivos IoT.
2. Utilizar Unity y 'digital twins' para simular operaciones e interacciones precisas de los componentes del edificio.
3. Validar el dashboard. Este dashboard será validado a través de pruebas específicas

en la simulación para asegurar que proporciona la información necesaria de manera comprensible y útil para la toma de decisiones.

1.4 ALCANCE

Este trabajo se enfoca en el desarrollo de un prototipo de simulación utilizando Unity, Tuya y Firebase. Se aplicará una metodología adaptada con 'digital twins' para crear la simulación del edificio en Unity, incluyendo dispositivos IoT. El sistema permitirá la recolección y análisis de datos en tiempo real a través de un dashboard de control.

El sistema permitirá la recolección y análisis de datos en tiempo real a través de un dashboard de control, que mostrará KPIs esenciales para la administración del edificio. Este dashboard facilitará la simulación de diversas condiciones operativas para evaluar la eficiencia energética y la efectividad de las estrategias de gestión implementadas. La finalidad de este prototipo es proporcionar una herramienta de simulación que sirva como base para futuras investigaciones y desarrollos en el ámbito de la gestión de edificios inteligentes, ofreciendo así un escenario ideal para la experimentación y el aprendizaje sin los riesgos o costos asociados a la implementación en un entorno real.

1.5 MARCO TEÓRICO

Esta sección abarca conceptos como edificios inteligentes, IoT y 'Digital Twins'. También se revisan hallazgos de simulaciones de edificios inteligentes y el trabajo de la OLADE en Ecuador.

1.5.1 Gestión de Edificios Inteligentes

Un edificio inteligente, según la definición aceptada por el Intelligent Building Institution (IBI), es aquel que integra varios sistemas para gestionar eficazmente los recursos de forma coordinada. El objetivo es maximizar el rendimiento técnico, lograr ahorros en costos de inversión y operación, y aumentar la flexibilidad. Esta definición subraya la importancia de una gestión integrada y eficiente de los recursos para mejorar la operatividad del edificio [7]. Según el informe de 2017 del Buildings Performance Institute Europe (BPIE), el concepto

de edificio inteligente está en constante evolución [8].

El valor añadido de los edificios inteligentes contribuye significativamente a la viabilidad económica de su producción, ofreciendo ventajas como mejoras en la eficiencia energética, el confort de los ocupantes y la reducción de los costos operativos a largo plazo [7]. Estos edificios, que operan como construcciones basadas en datos, integran extensivamente tecnologías de la información a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la construcción hasta la operación y el mantenimiento. Este enfoque mejora sustancialmente la gestión de procesos y genera un valor agregado considerable en términos económicos [9]. La utilización de datos en tiempo real facilita la toma de decisiones informadas, permite un mantenimiento preventivo y optimiza el uso de recursos. Es importante la gestión eficiente de la curva de demanda energética, que se logra a través del uso de tecnologías inalámbricas como los medidores inteligentes. Estos dispositivos proporcionan datos cruciales que apoyan el rendimiento sostenible del edificio, resultando en un uso más racional de los recursos energéticos y, en última instancia, en un ahorro significativo de costos a largo plazo [10].

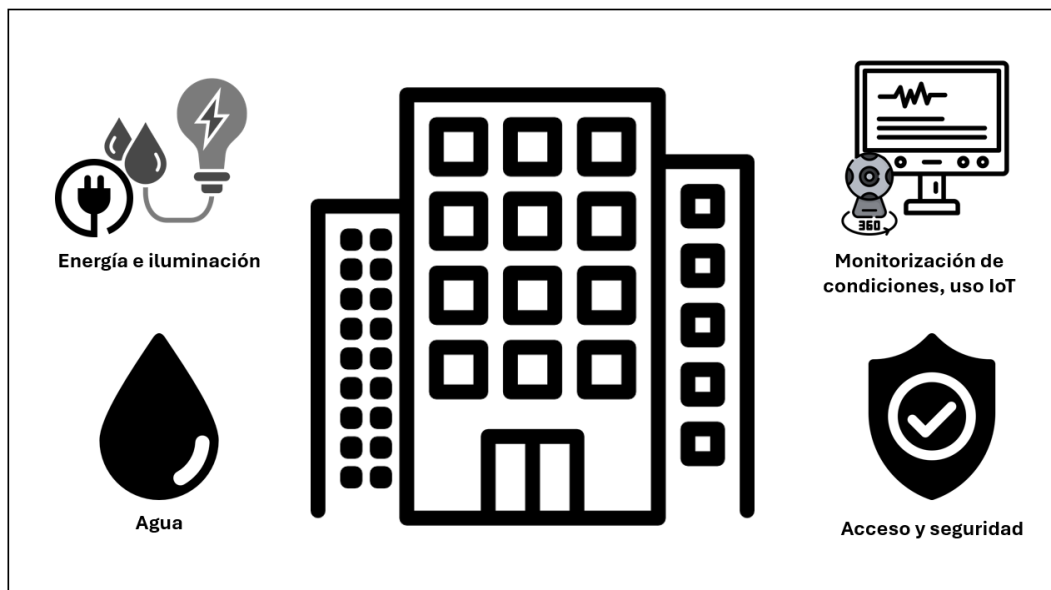


Figura 1.1: Diferentes sistemas dentro del alcance de un edificio inteligente.

1.5.2 Digital Twins

Existe numerosas definiciones de "Digital Twins"(DT), pero mencionare un concepto que ha sido reconocido y empleado por parte de numerosas personas hasta el momento [11], un DT es una simulación estocástica, física, unificada y a escala de un sistema construido, per-

mitido por el uso de un sistema digital Thread, que emplea los mejores modelos accesibles. (física, conductual, etc), así como la actualización información para emular el ciclo de vida, acciones y funcionamiento de su gemelo real [12].

En esta sección, se utilizarán los siguientes términos para referenciar diversos campos y conceptos clave en el contexto de los DT:

1. **Espacio Físico:** Se refiere a los objetos físicos en el mundo real. También conocido como sistema físico en el espacio real o gemelo físico. Los gemelos físicos son las entidades tangibles y observables que existen en el entorno real y que son replicadas digitalmente para fines de simulación y análisis [5], [11].
2. **Espacio Virtual:** Se refiere a los objetos digitales en el mundo digital. También conocido como sistema virtual en el ciberespacio o gemelo digital. Los gemelos digitales son representaciones virtuales de los gemelos físicos que existen en el ciberespacio y permiten la simulación, el monitoreo y el análisis de los objetos físicos mediante el uso de modelos digitales precisos [5], [11].
3. **Conexiones Bidireccionales:** Se refiere al conjunto de conexiones que unen los elementos digitales y físicos entre sí. Esta conexión entre el espacio digital y el espacio físico permite la transferencia de datos e información utilizando el Internet de las Cosas (IoT). Estas conexiones bidireccionales son cruciales para la comunicación continua y en tiempo real entre los gemelos digitales y físicos, asegurando que los datos recopilados en el entorno físico puedan ser analizados y utilizados en el entorno digital, y viceversa [5], [11].

El espacio físico es un entorno de producción complejo, diverso y dinámico, que está formado por personas, máquinas, material, reglas y entorno. La capa de recursos incluye todo tipo de objetos relacionados con el desarrollo de productos y fabricación. Todo tipo de objetos están separados y distribuidos en diferentes lugares, y es necesario que estén conectados mediante tecnología IOT. Entonces los datos del mundo físico serán recopilados, integrados y utilizados para la optimización [13].

Es espacio virtual, se distinguen dos partes: la plataforma de entorno virtual (VMP), que construye un modelo digital 3D integrado para ejecutar aplicaciones y probar algoritmos, y los gemelos digitales, que reflejan el ciclo de vida de sus entidades físicas permitiendo múltiples operaciones (control, predicción, etc.) [11].

Las conexiones bidireccionales entre el espacio físico y espacio virtual son fundamentales en el desarrollo del DT, variando según la metodología y tecnología empleada por cada investigador. Estos gemelos digitales se convierten en componentes esenciales para la toma de decisiones y la gestión de recursos, permitiendo monitorear el estado, modificar comportamientos y realizar predicciones precisas del objeto real. El modelo de Digital Twins Integrado (EDT), los gemelos están involucrados en todas las operaciones relacionadas con sus contrapartes físicas, como la simulación de modelos específicos o la programación de operaciones a través de sistemas. La interacción entre lo físico y lo digital se facilita mediante una conexión bidireccional, donde los datos recopilados por sensores en el objeto real permiten tomar decisiones informadas a través del gemelo virtual. Este modelo es el que se aplica en este componente,[5], [11], [13].

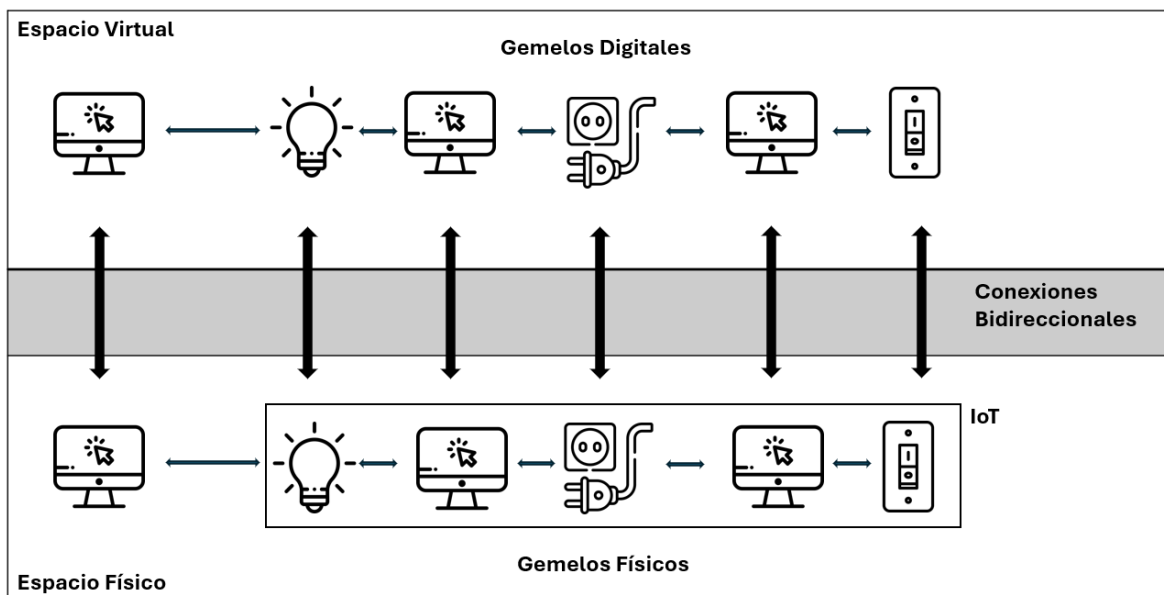


Figura 1.2: Componentes de Digital Twins.

1.5.3 Simulación de Edificios Inteligentes

Los edificios inteligentes no solo optimizan el consumo energético, sino que también mejoran la sostenibilidad y la eficiencia operativa. Para maximizar la eficacia de la construcción y gestión de estos edificios, es fundamental realizar simulaciones, como el modelado de información de edificios (BIM), que es una opción destacada para la simulación y de edificios. El BIM permite un modelado detallado en 3D y facilita la integración de información crítica sobre las características y el rendimiento del edificio a lo largo de su ciclo de vida, lo que es esencial para optimizar tanto la construcción como la operación de los edificios inteligentes

[14].

La metodología propuesta por Pisello, aunque no nombrada específicamente, se centra en la aplicación de simulaciones dinámicas y análisis experimentales para evaluar el rendimiento térmico de los edificios. Esta técnica utiliza índices de desviación térmica (TDI) para cuantificar y analizar cómo diversos factores influyen en la eficiencia energética. El uso de TDI permite obtener una visión detallada y cuantitativa del comportamiento térmico, facilitando así la optimización de las estrategias de diseño y operación de los edificios [15].

Están emergiendo metodologías innovadoras en diversos ámbitos tecnológicos, particularmente en el uso de la realidad virtual para la simulación, ampliando significativamente el abanico de técnicas disponibles. Estos nuevos métodos no solo proporcionan herramientas y perspectivas avanzadas para la evaluación y mejora de los diseños arquitectónicos y los sistemas de gestión de edificios, sino que también promueven un enfoque más integrado y tecnológicamente progresista en la gestión de infraestructuras [6]. En este contexto tecnológico avanzado, los digital twins se perfilan como una innovación crucial, representando una evolución notable en la simulación y gestión de edificios. Estos permiten una representación virtual detallada y operativa de los edificios físicos, mejorando la eficiencia y precisión en la gestión y operación de las mismas [5].

1.5.4 OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) en Ecuador

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) es una entidad clave en la promoción y desarrollo de políticas energéticas sostenibles en América Latina y el Caribe. Fundada en 1973, OLADE busca fomentar la integración, el desarrollo y la cooperación regional mediante el manejo coordinado de los recursos energéticos. La organización juega un papel vital en la transición hacia fuentes de energía renovables, implementando proyectos que no solo buscan la eficiencia energética sino también la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la minimización del impacto ambiental. Su misión es contribuir a la integración y seguridad energética de la región, mientras que su visión es ser un soporte técnico y político para los esfuerzos de integración energética regional.[16]

La implementación de paneles solares por parte de OLADE es un claro ejemplo de cómo la organización promueve el uso de energías renovables y tecnologías avanzadas. Además

de demostrar un compromiso ambiental, estos proyectos incorporan sistemas de monitoreo avanzados que facilitan la visualización y la gestión en tiempo real de variables críticas como el consumo energético, las emisiones de CO₂ y los ahorros en costos resultantes. Esta capacidad de monitorización es un paso hacia adelante en la evolución hacia una gestión energética más inteligente, coherente con los objetivos globales de sostenibilidad y eficiencia energética. La posibilidad teórica de incluir tecnologías IoT en sistemas como estos podría abrir nuevas vías para la automatización y la integración de procesos energéticos, enriqueciendo la infraestructura energética inteligente.

2 METODOLOGÍA

La metodología seleccionada debe adaptarse a las condiciones específicas y características únicas del contexto en el que se implementa. Existen numerosas metodologías orientadas a diferentes áreas. El constante cambio es una realidad, especialmente con los desafíos que traen las revoluciones industriales, lo que exige la búsqueda y adopción de nuevas soluciones que estén alineadas con las necesidades contemporáneas. [5]

Para la recolección de información, se utilizó una combinación de análisis documental y encuestas. El análisis documental involucró la revisión de literatura existente sobre edificios inteligentes, tecnologías de simulación y sistemas de gestión de energía. Este análisis ayudó a establecer una base teórica sólida y a identificar brechas en la investigación existente. Se implementó una encuesta dirigida a profesionales de la construcción, seleccionados por su experiencia relevante en diseño, construcción y gestión de infraestructuras. La encuesta, "Percepciones y Preferencias sobre Edificios Inteligentes en la Industria de la Construcción", incluyó preguntas detalladas sobre el impacto de tecnologías como IoT y Big Data en la reducción de costos energéticos, mejora de la gestión edilicia, y promoción de la sostenibilidad. Los términos técnicos fueron claramente definidos para asegurar una comprensión uniforme entre todos los participantes, quienes fueron instados a responder basándose en sus experiencias y conocimientos directos, garantizando así respuestas válidas y precisas. La selección de los participantes se centró en aquellos con conocimiento práctico de las tecnologías mencionadas, asegurando que los datos recogidos reflejaran una perspectiva informada y aplicable sobre los desafíos y aplicaciones de los edificios inteligentes.

El análisis de la información se lleva a cabo mediante métodos estadísticos básicos como el análisis descriptivo, que permitió resumir y visualizar las respuestas obtenidas a través de gráficos de barras y de pastel. Estos gráficos, realizados en Power BI, facilitaron la interpretación de las preferencias y percepciones de los encuestados, mostrando claramente la distribución de respuestas para cada pregunta (ver Anexo 5 y 6). Además, se pudo haber

utilizado análisis de frecuencia para contar la cantidad de respuestas en cada categoría, proporcionando una visión clara del consenso o discrepancia entre los participantes para los datos cuantitativos obtenidos y mediante análisis de contenido para los datos cualitativos (ver Anexo 3 y 4). Este enfoque dual permitió validar las suposiciones del estudio y proporcionar una interpretación robusta de los datos recogidos, facilitando la comprensión de cómo las soluciones propuestas podrían implementarse eficazmente en entornos reales.

En el desarrollo de la simulación para la gestión de edificios inteligentes, se enfrentaron varias limitaciones, abordadas mediante estrategias específicas para garantizar la eficacia del estudio. Una de las principales restricciones fue la ausencia de una metodología específica para integrar completamente los entornos físico y digital en simulaciones de digital twins enfocadas en la optimización energética. Para mitigar esto, se adoptó una metodología adaptativa que integra elementos de prácticas existentes, ajustándolas a las necesidades de simulación específicas de edificios inteligentes. Adicionalmente, se contó con limitaciones tecnológicas y presupuestarias, particularmente en el uso de herramientas como Unity y tecnologías de digital twins, que pueden presentar desafíos en términos de escalabilidad y precisión. Para superar estas barreras, se optó por recopilar datos desde el gemelo digital a través de Firebase, asegurando la continuidad y la estabilidad del acceso a los datos necesarios, y se limitó el alcance de las pruebas a lo que el presupuesto y los plazos permitían, enfocándose en obtener resultados confiables dentro de los recursos disponibles.

Se emplea una metodología adaptada para integrar el dashboard con los digital twins en el entorno de simulación. Adopta un enfoque mixto que combina elementos cuantitativos, mediante el uso de datos de simulación y monitorización, con elementos cualitativos, tales como la evaluación de la usabilidad y la experiencia del usuario. El trabajo se clasifica como experimental y explicativo. Es experimental en el sentido de que desarrolla un prototipo funcional para probar teorías y hipótesis sobre la gestión de edificios inteligentes. Además, es explicativo porque busca aclarar cómo distintos factores en la gestión de la energía y la integración de IoT influyen en la eficiencia operativa y energética de los edificios. Ilustrada en la figura 2.1, se inspira en la metodología descrita por [5] para el desarrollo de formación en realidad virtual (VR) adaptada a las necesidades industriales, adaptada aquí específicamente para la simulación de la gestión de edificios inteligentes. Se despliega en varias fases críticas, cada una diseñada para abordar aspectos específicos del desarrollo y la validación del sistema:

1. **Fase de Concepto:** Esta fase inicial establece los fundamentos del proyecto. Se definen los objetivos específicos y los requisitos técnicos para la simulación, incluyendo la integración de dispositivos IoT en un entorno digital. Se seleccionan herramientas como Unity para visualizaciones en 3D y se planifica el uso de tecnologías de digital twins. Por ejemplo, el uso de digital twins permitirá simular el comportamiento energético del edificio bajo diferentes condiciones, ayudando a identificar oportunidades de ahorro energético.
2. **Fase de Preparación:** Se detallan los componentes y la arquitectura del sistema, determinando cómo se modelarán los componentes y qué elementos se simularán para que el entorno virtual refleje adecuadamente el funcionamiento real de un edificio inteligente. Por ejemplo, se modelarán sistemas de iluminación para evaluar su impacto en el consumo energético y optimizar su uso.
3. **Fase de Implementación:** Se construyen y se integran los componentes de software y hardware. Se desarrolla la interacción entre los dispositivos IoT y la configuración de la base de datos en Firebase. Por ejemplo, los datos de consumo energético de dispositivos IoT se almacenarán en Firebase para su análisis y visualización en tiempo real.
4. **Validación y Pruebas:** Se realizan pruebas para verificar la precisión de la simulación y la capacidad del dashboard para mostrar los KPIs de manera efectiva, identificando y corrigiendo errores. Por ejemplo, se probará la respuesta del sistema a cambios en la ocupación del edificio y ajustes en la configuración de los dispositivos para asegurar que se optimice el uso de energía.
5. **Fase Operativa y de Producción Real:** Se centra en la implementación práctica del sistema simulado para entrenamiento y toma de decisiones en tiempo real, evaluando la interacción de los usuarios con el sistema. Por ejemplo, se utilizará el sistema para entrenar a los administradores de edificios en la gestión eficiente de recursos energéticos, mejorando la respuesta ante situaciones reales.
6. **Fase de Evaluación:** Se analizan los datos recogidos para optimizar la eficiencia y la efectividad del sistema, permitiendo mejoras continuas basadas en la retroalimentación de los usuarios. Por ejemplo, los datos de consumo energético y rendimiento operativo se analizarán para identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias de gestión en consecuencia.

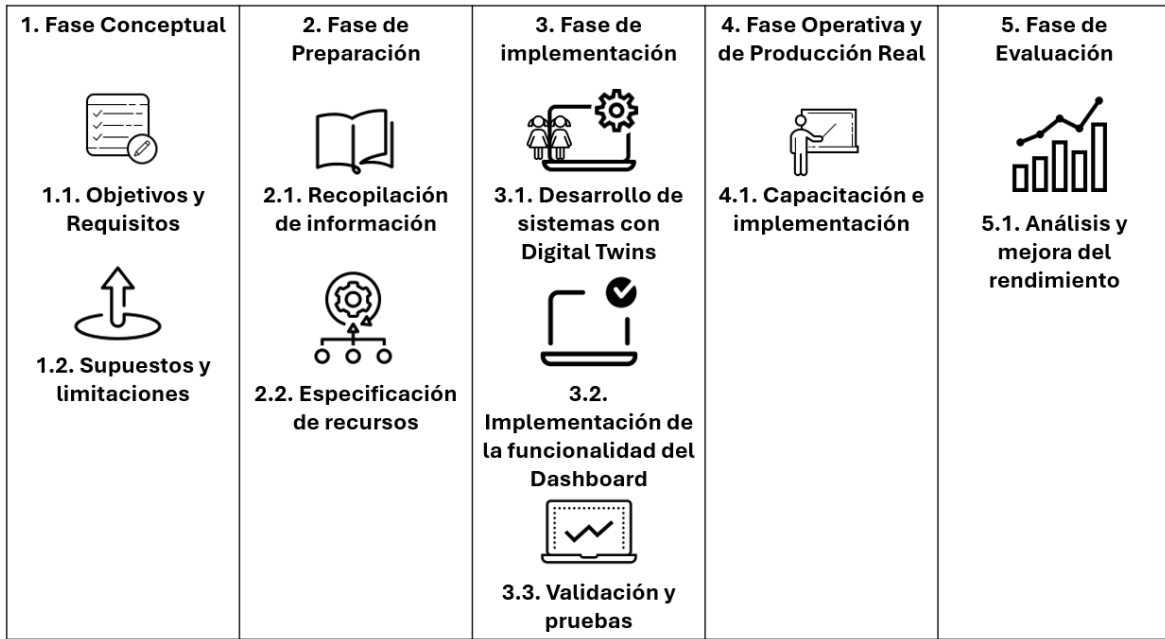


Figura 2.1: Metodología para desarrollar simulación con digital twins

2.1 FASE DE CONCEPCIÓN

En la fase de concepción, el proceso comienza con la definición clara del problema y los objetivos del proyecto. Este es el momento de establecer las bases para el prototipo de simulación a desarrollar.

2.1.1 Objetivos y Requisitos

Los objetivos específicos del proyecto incluyen desarrollar y validar una simulación para la gestión de edificios inteligentes mediante un dashboard interactivo. Los requisitos del sistema incluyen la capacidad de integrar y simular interacciones de dispositivos IoT en un entorno digital avanzado utilizando tecnologías de visualización tridimensional y digital twins para replicar el comportamiento dinámico de los sistemas del edificio en tiempo real. Esta funcionalidad mejorará la visualización de los datos y permitirá experimentar con diversos escenarios de gestión energética, proporcionando una plataforma sólida para la toma de decisiones estratégicas y la optimización de recursos del edificio.

2.1.2 Suposiciones y Limitaciones

La metodología también aborda las suposiciones bajo las cuales se desarrollará la simulación, como la precisión de la entrada de datos y la fiabilidad del rendimiento de la simulación. Se discutirán las limitaciones, incluyendo las capacidades tecnológicas actuales, las restricciones presupuestarias y los plazos del proyecto, que podrían influir en el alcance y la profundidad del desarrollo del prototipo. Estas consideraciones son fundamentales para comprender los desafíos potenciales y preparar estrategias de mitigación adecuadas.

En el desarrollo de la simulación para la gestión de edificios inteligentes, se ha decidido que los datos utilizados para calcular cada KPI, específicamente el tiempo y los watts, se obtendrán exclusivamente del gemelo digital y no del gemelo físico. Esta decisión se debe a las restricciones técnicas y de acceso asociadas con las plataformas IoT en la vida real, como Tuya.com, donde el acceso gratuito puede requerir renovación y donde no se tiene control completo sobre los datos. Por estas razones, se ha optado por recopilar esta información y utilizar una base de datos en Firebase para manipular y utilizar estos datos en la simulación y el dashboard. Esta estrategia asegura la continuidad y la estabilidad del acceso a los datos necesarios para la operación eficiente del sistema de gestión de edificios inteligentes que se desarrollara.

Una limitación importante es la ausencia de una metodología específica para simular edificios inteligentes con un enfoque en digital twins que integre completamente el entorno físico y digital para optimización energética. Para abordar esta brecha, se propone una metodología adaptativa que incorpore prácticas de las metodologías existentes, pero orientadas específicamente a las necesidades de simulación de edificios inteligentes.

Otra consideración son las limitaciones tecnológicas de las herramientas como Unity y las tecnologías de digital twins. A pesar de sus avanzadas capacidades para visualización y simulación, pueden enfrentar limitaciones en términos de escalabilidad y precisión en entornos complejos y dinámicos. Además, las restricciones presupuestarias y los plazos del proyecto pueden limitar la posibilidad de explorar tecnologías más avanzadas o ampliar el alcance de las pruebas y validaciones.

Para mitigar las limitaciones tecnológicas y de acceso, se sugiere la posibilidad de colaborar con instituciones académicas o empresas tecnológicas. Esto no solo podría proporcionar acceso a herramientas y tecnologías avanzadas, sino también apoyo en la investigación y

desarrollo de soluciones más eficaces y personalizadas. Esta colaboración podría ser crucial para superar los desafíos de presupuesto y recursos, permitiendo una mejor adaptación y optimización del proyecto dentro de las restricciones existentes.

2.2 FASE DE PREPARACIÓN

La fase de preparación sirve para estructurar la implementación de la solución propuesta en el proyecto de simulación para la gestión de edificios inteligentes. Durante esta etapa, se realiza una definición detallada del escenario de simulación, que incluye cada acción individual que realizará el usuario, los efectos esperados de estas acciones, y cómo el sistema responderá a posibles errores. Esta detallada planificación se basa en la descripción del proceso real que se desea simular, identificando y definiendo los elementos esenciales que conformarán el "teatro de operaciones" virtual.

Es fundamental determinar cuáles elementos son imprescindibles desde la perspectiva del proceso de formación y cuáles pueden ser omitidos para optimizar recursos y esfuerzos. A partir de esta evaluación, se procede a detallar cada objeto dentro del entorno virtual de acción, asegurando que todos los componentes necesarios estén bien representados y que el entorno sea coherente con los objetivos del proyecto.

Además, se evalúan las condiciones operativas necesarias, como la selección de dispositivos IoT que sean adecuados desde el punto de vista del coste y la disponibilidad, considerando las necesidades de la simulación. Esto incluye la elección del framework y el motor gráfico que se utilizarán para desarrollar la simulación, elementos que deben ser capaces de soportar y ejecutar con precisión el diseño establecido.

El resultado final de la fase de preparación serán los supuestos del proyecto, que establecerán las bases sobre las que se desarrollará toda la formación y simulación, garantizando que el entorno de simulación sea funcional, efectivo y alineado con las expectativas y necesidades del proyecto. Esta preparación meticulosa es esencial para asegurar que la implementación posterior sea exitosa y que los objetivos del proyecto se cumplan eficientemente.

2.2.1 Recolección de información

Se identificarán y recopilarán datos históricos y en tiempo real sobre el consumo de energía, la eficiencia de los sistemas de iluminación y seguridad, así como información sobre las condiciones ambientales externas que puedan influir en el rendimiento del edificio. Estos datos se obtendrán a través de dispositivos IoT integrados mediante Tuya.com y se almacenarán en Firebase para facilitar su acceso y análisis. Se creará un escenario de entrenamiento virtual detallado en Unity, con modelos diseñados en Blender, para evaluar estrategias de gestión energética en condiciones controladas.

El consumo energético, alineado con los principios de la cuarta revolución industrial, se enfoca en la creación de un mundo inteligente a través del uso avanzado de tecnología. Según la Administración de Información Energética de EE. UU. (EIA), se proyecta que el consumo mundial de energía aumente un 50 % entre 2018 y 2050, impulsado principalmente por las regiones en desarrollo y el creciente uso de tecnologías digitales en las empresas [17].

Después de recopilar información relevante a través de encuestas y revisión literaria para fundamentar el documento que validaría el proyecto [4], se procedió a aplicar criterios de filtrado específicos para la selección de estudios. Se excluyeron documentos anteriores al año 2012 y aquellos estudios que no estaban directamente relacionados con el tema principal del proyecto. Además, se descartaron fuentes con información considerada obsoleta. Como resultado de este proceso de filtrado, se identificaron 31 estudios de valor. Cada uno de estos estudios fue revisado y registrado, detallando información crucial como el título, enfoque, año de publicación, autor y la problemática específica identificada. Este registro detallado sirve para asegurar que toda la información recopilada sea pertinente y actual, fundamentando sólidamente el desarrollo del proyecto.

2.2.2 Especificación de Recursos

Se especificarán todos los recursos técnicos necesarios para la implementación del sistema de simulación. Esto incluye el software de simulación (Unity + Blender), las herramientas para la creación y manejo de "digital twins", las plataformas de integración IoT (Tuya.com), y los sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos (Firebase). Cada uno aporta capacidades únicas esenciales para la simulación y gestión de edificios inteligentes.

Unity se eligió por ser una potente plataforma de desarrollo principalmente orientada a la creación de videojuegos, que también se adapta perfectamente para simulaciones interactivas y visualizaciones en 3D en aplicaciones no lúdicas. Su robusto motor gráfico y la capacidad de implementar interfaces interactivas y simulaciones complejas eficientemente son ideales para este proyecto. Además, su extensa comunidad y la disponibilidad de recursos preconstruidos facilitan y aceleran el desarrollo del prototipo.

Firebase ofrece una solución integral para el desarrollo de aplicaciones backend. La integración con Unity para manejar bases de datos, permitiendo un manejo dinámico y en tiempo real de los datos de IoT. Esto ofrece más control que utilizar directamente Tuya.com para las bases de datos, con funcionalidades como autenticación de usuarios, almacenamiento y sincronización de datos en la nube.

Blender es un software de código abierto para modelado, animación y renderizado en 3D. Se utilizará para crear modelos detallados de los componentes y estructuras de los edificios dentro del entorno virtual. La flexibilidad y potencia de Blender en la modelación 3D y la generación de texturas son esenciales para desarrollar visualizaciones realistas y detalladas que complementan las simulaciones realizadas en Unity.

Tuya.com proporciona una plataforma integrada para el desarrollo y gestión de dispositivos IoT. Aunque en este proyecto se utiliza principalmente para referencias y pruebas iniciales, el acceso a su API en los planes pagos permite una expansión y escalamiento según las necesidades del proyecto.

2.2.3 Escenario de Simulación

La simulación se desarrollará en el tercer piso de la Facultad de Sistemas (FIS) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), donde se recreará un ambiente virtual que incluye aulas y pasillos con características típicas de un espacio académico, como pizarras y proyectores. Esta simulación se enfocará en la interacción con dispositivos IoT específicos: un switch light, un light LED y un switch plug. Estos dispositivos estarán integrados en un aula que simula un laboratorio, equipada con computadoras para demostrar su funcionamiento y la capacidad de control a través de un dashboard interactivo desarrollado en el componente «Interfaz visual y funcionalidad del tablero» del proyecto [4]. El dashboard permitirá la visualización y gestión en tiempo real de los estados y funcionalidades de los dispositivos,

ofreciendo una herramienta dinámica para la experimentación con la automatización y la gestión energética. Además de replicar la disposición física del espacio, la simulación incorporará detalles realistas, como texturas de suelos y paredes, y la configuración de muebles, para lograr mayor realismo e inmersión. La metodología utilizada contribuye significativamente a la eficiencia energética y la optimización operativa de los edificios inteligentes mediante varias estrategias específicas, como el uso de «digital twins» para simular y analizar el comportamiento energético bajo diferentes condiciones, y la integración de dispositivos IoT para monitorizar y controlar el consumo energético en tiempo real. La aplicabilidad y la eficacia de la simulación en entornos industriales reales se medirán mediante indicadores clave de rendimiento (KPIs) definidos en el proyecto, incluyendo métricas como la reducción del consumo energético, la eficiencia operativa, la satisfacción del usuario y la capacidad de respuesta del sistema a diferentes escenarios operativos. La recopilación y el análisis de estos datos permitirán evaluar la implementación en entornos reales y mejorar la gestión de edificios inteligentes, complementada con encuestas y feedback de los usuarios para evaluar la efectividad del dashboard interactivo y la precisión de los modelos de «digital twins» en replicar las condiciones del mundo real.

2.3 FASE DE IMPLEMENTACIÓN

La fase de implementación se articula en cuatro etapas: diseño, modelado, programación y validación. Se utilizarán principios de BIM para establecer parámetros del entorno de simulación y crear modelos detallados en Blender. El código en Unity permitirá la interacción en tiempo real con dispositivos IoT mediante Firebase.

Etapas de Diseño: En esta etapa inicial, el equipo del proyecto aplica principios de Building Information Modeling (BIM) para establecer con precisión los parámetros del entorno de simulación. Se planifica cada objeto, acción y evento en base a un modelo BIM detallado del edificio inteligente, lo que permite una representación exacta de las interacciones de dispositivos IoT. Se determina qué elementos del modelo serán modelados en detalle y cuáles se representarán mediante texturas, equilibrando el detalle visual con la optimización de recursos. Además, se configuran las funcionalidades necesarias para la interacción de los dispositivos IoT, asegurando la fiabilidad y seguridad del sistema simulado. El diseño técnico resultante incluye toda la documentación de implementación necesaria para avanzar en el proyecto.

En esta etapa inicial, el equipo del proyecto aplica los principios de Building Information Modeling (BIM) para establecer con precisión los parámetros del entorno de simulación. Se planifica cada objeto, acción y evento basándose en un modelo BIM detallado del edificio inteligente, lo que permite una representación exacta de las interacciones de los dispositivos IoT. Se determina qué elementos del modelo serán modelados en detalle y cuáles se representarán mediante texturas, equilibrando así el detalle visual con la optimización de recursos. Además, se configuran las funcionalidades necesarias para la interacción de los dispositivos IoT, asegurando la fiabilidad y seguridad del sistema simulado. El diseño técnico resultante incluye toda la documentación de implementación necesaria para avanzar en el proyecto.

La arquitectura diseñada para el desarrollo del prototipo de simulación de edificios inteligentes integra tecnologías clave, como se muestra en la figura 2.2. En esta arquitectura, los dispositivos IoT se conectan mediante Tuya.com, que facilita la transmisión de datos a Firebase, donde se almacena y gestiona la base de datos central. Unity es crucial en este esquema, ya que se utiliza para desarrollar la simulación y visualización 3D, permitiendo una representación detallada del edificio y la interacción con los dispositivos IoT a través de un dashboard interactivo. Esta configuración robusta respalda la simulación detallada de la gestión energética y operativa del edificio, ofreciendo una plataforma dinámica para probar diferentes estrategias en un entorno controlado y altamente interactivo.

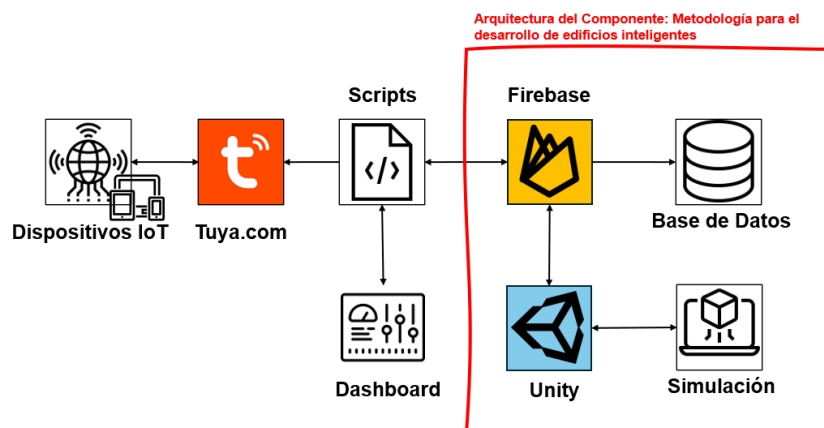


Figura 2.2: Arquitectura del proyecto

La figura 2.9 muestra el plano arquitectónico del tercer piso de la Facultad de Sistemas (FIS) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), detallando la distribución de los laboratorios y otras áreas relevantes para la simulación de edificios inteligentes. Este plano se utiliza como

referencia para configurar el entorno de la simulación, garantizando que la disposición de los dispositivos IoT y los espacios simulados correspondan a la estructura real.

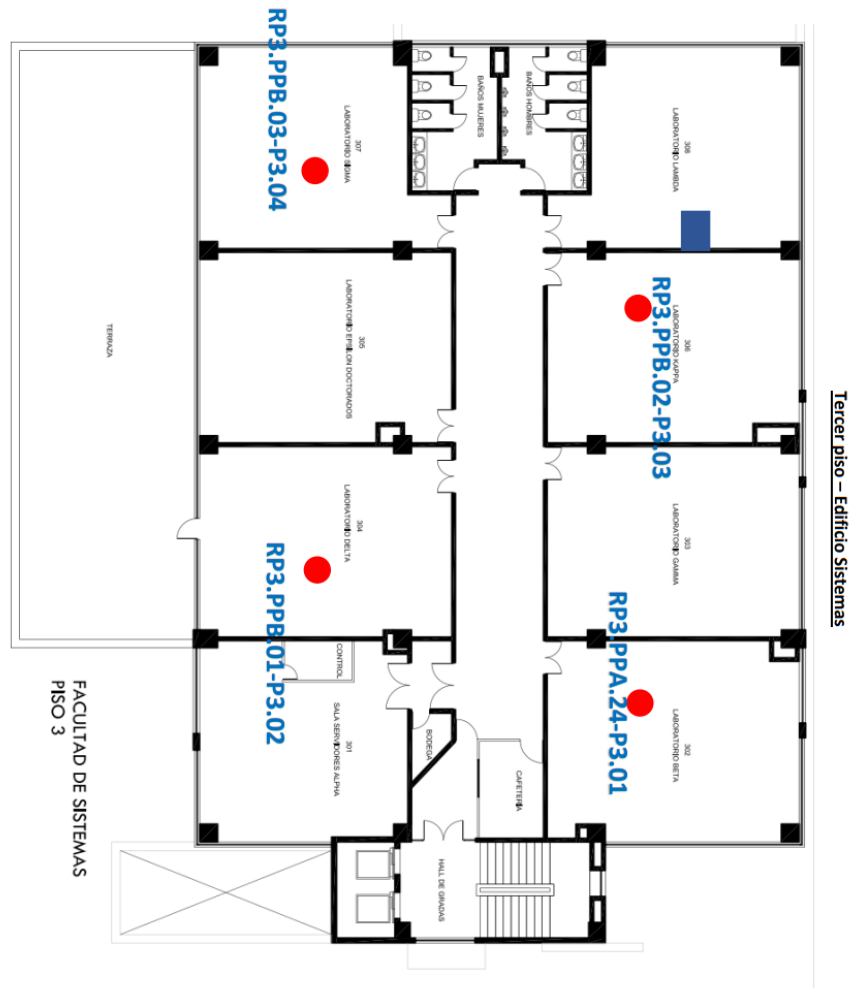


Figura 2.3: Plano Arquitectónico del tercer piso de la FIS de la EPN

Eta de Modelado: Se construye el entorno simulado utilizando los principios de BIM para integrar objetos y texturas que representan con precisión el edificio inteligente y sus componentes IoT.

Se emplea Blender para crear modelos detallados, como se ilustra en la Figura 2.4 y 2.5. Para enriquecer la simulación, se incorporan assets adicionales de Unity Asset Store, como se observa en la Figura 2.6. Los modelos de dispositivos IoT, como el switch light, switch plug y light LED, se seleccionaron cuidadosamente de TurboSquid, como se muestra en la Figura 2.7, para garantizar una representación visual realista y de alta calidad. Esta combinación de elementos, ilustrada a través de las figuras mencionadas, es fundamental para demostrar la funcionalidad e interacción auténtica en el entorno digital, potenciando así la

experiencia educativa y operativa del proyecto. La integración de estos componentes visuales de diversas fuentes, asegura una simulación inmersiva y fidedigna, importante para la comprensión y aplicación práctica de los conceptos de edificios inteligentes.

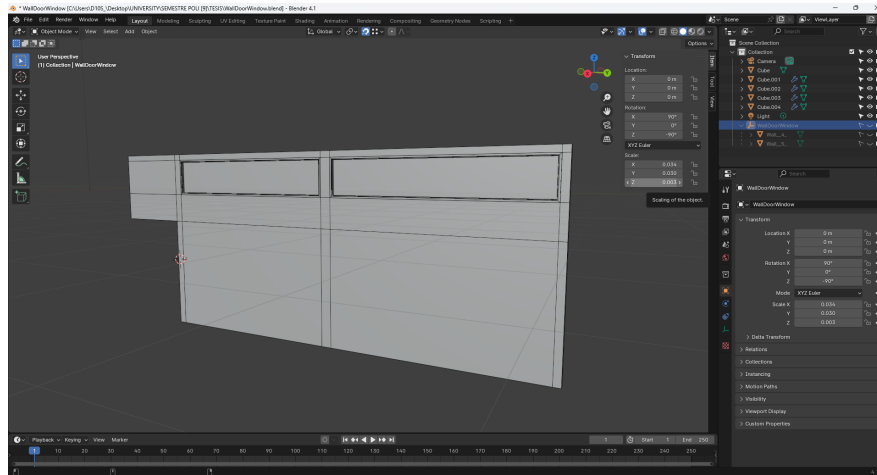


Figura 2.4: Elemento modelado en Blender

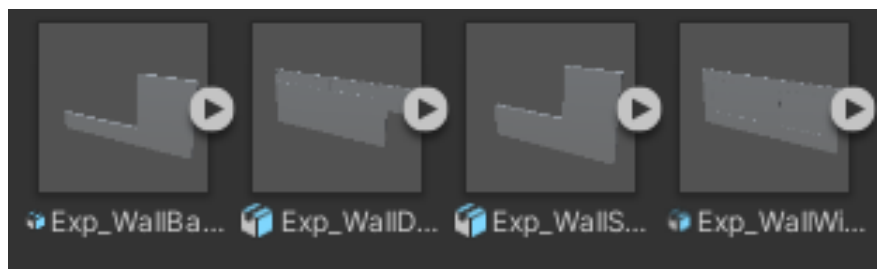


Figura 2.5: Modelos creados con Blender

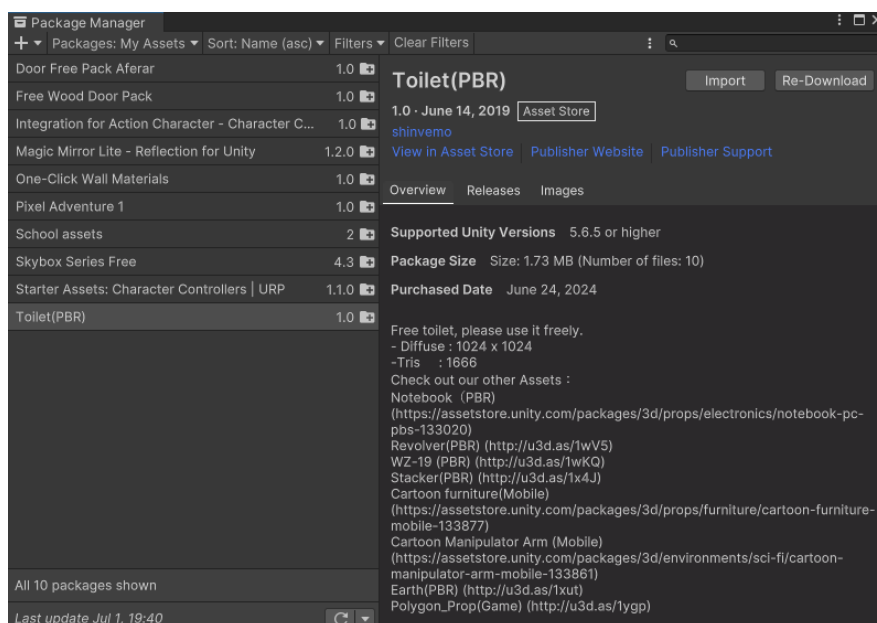


Figura 2.6: Assets de Unity Asset Store

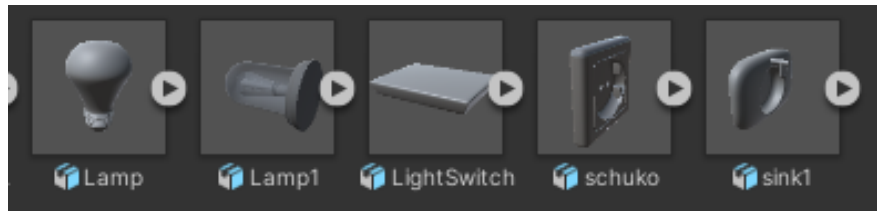


Figura 2.7: Modelos descargados

Usando el plano arquitectónico de la etapa de diseño, creamos una estructura detallada para simular el edificio inteligente. Esta estructura se muestra en la figura 2.8 y 2.9. Las figuras muestran el modelo necesario para hacer un entorno virtual que funcione bien y se parezca mucho al tercer piso de la FIS, usando las texturas que se observan en la figura 2.10, logrando que todas las partes se junten para hacer un modelo digital que imite lo real.

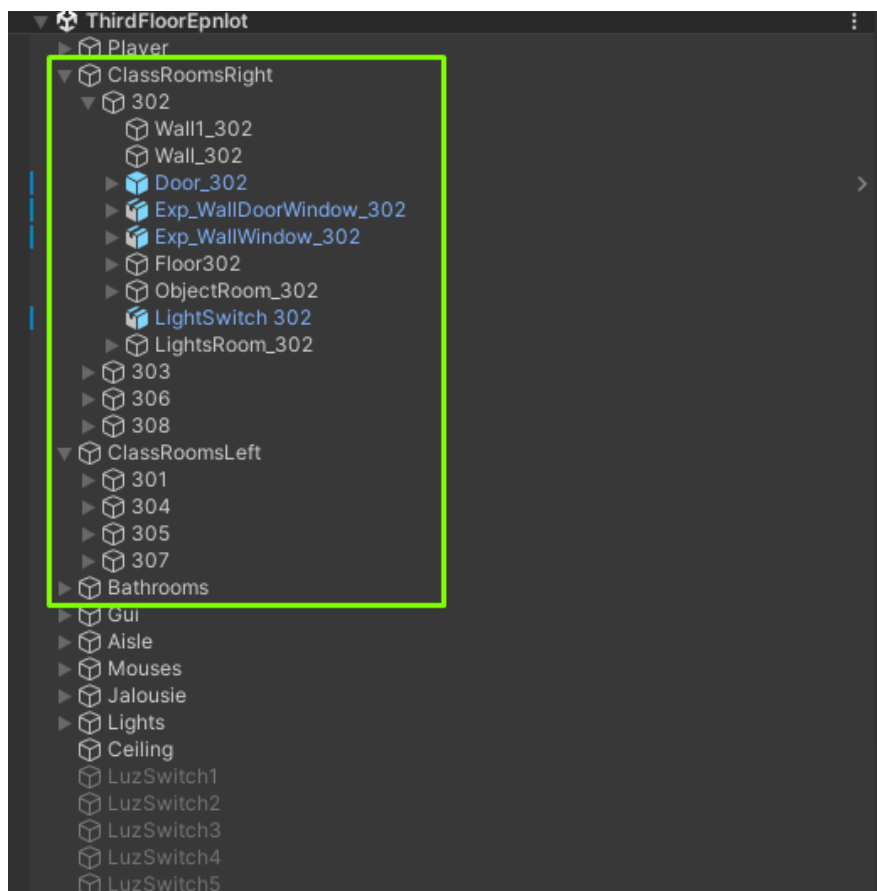


Figura 2.8: Estructura de la Simulación

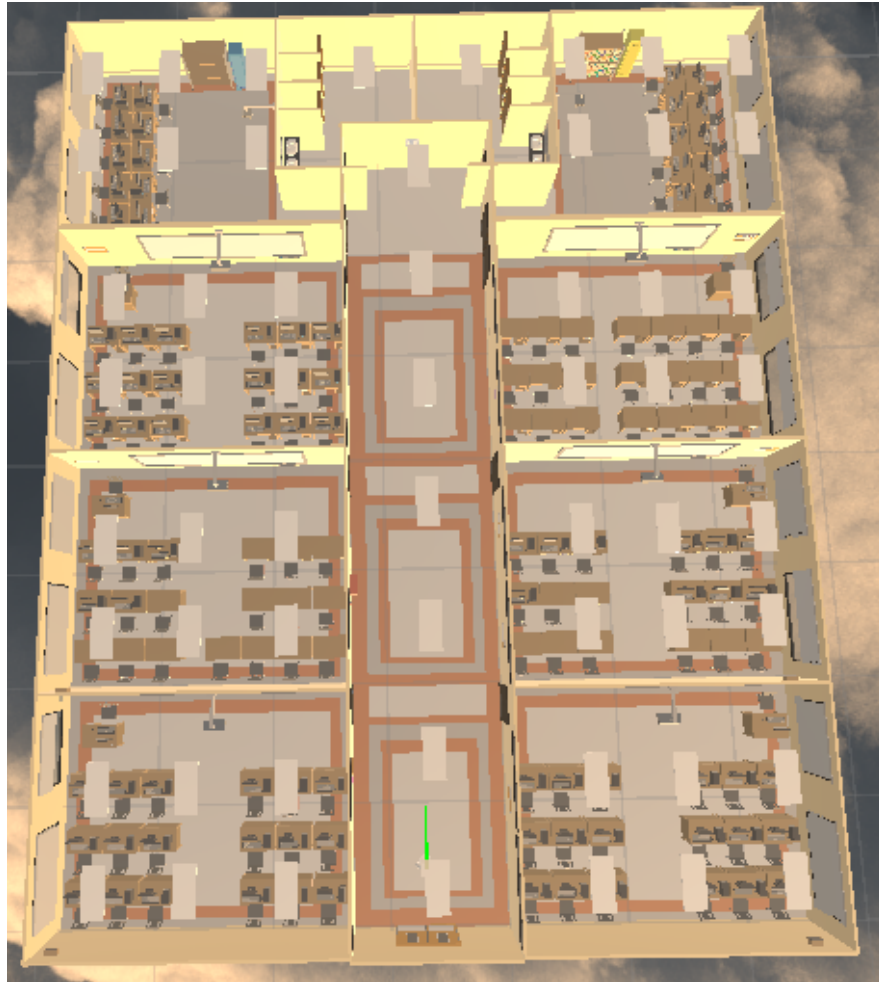


Figura 2.9: Plano arquitectónico en 3D

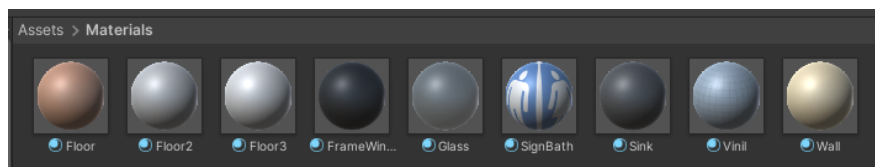


Figura 2.10: Materiales de la Simulación

Etapas de Programación: Aquí es donde el entorno virtual cobra vida, asegurando el nivel adecuado de inmersión y funcionalidad necesarios para simular la gestión de un edificio inteligente. Durante esta etapa, se integran y se ponen en marcha las soluciones tecnológicas avanzadas, especialmente las relacionadas con la interacción de los dispositivos IoT, garantizando la coherencia tecnológica y funcional de la simulación.

El código mostrado ilustra cómo Unity puede interactuar con Firebase y Firestore para manejar datos en tiempo real desde dispositivos IoT. Para iniciar la conexión de la simulación de Unity con Firebase, primero es necesario configurar correctamente Firebase en el pro-

yecto de Unity. Esto incluye agregar las bibliotecas necesarias y configurar los permisos de acceso en el editor de Unity para asegurar la comunicación con la base de datos de Firestore.

Una vez establecida la conexión inicial con Firebase mediante `Firestore.DefaultInstance`, el proceso continúa con la implementación del método `ListenToDeviceData()`. Este método es fundamental para establecer una escucha activa sobre los cambios en los datos de los dispositivos IoT almacenados en Firestore. Utilizando el ID del documento proporcionado por el script `Interaction` presente en la escena de Unity, se configura un `DocumentReference` para apuntar específicamente al documento dentro de la colección "Device" en Firestore.

La funcionalidad de escucha (`listenerRegistration = docRef.Listen(snapshot =>{...})`) se activa tan pronto como se detectan cambios en el documento de Firestore. El código procesa estos cambios verificando la existencia y el estado del campo "status" en los datos del dispositivo. Si hay una actualización, el estado extraído (por ejemplo, si el dispositivo está encendido o apagado) se comunica de vuelta a Unity a través de `interactionScript.SetLightState(isLightOn)`, permitiendo así que la simulación refleje el estado actual del dispositivo en tiempo real.

Este flujo de trabajo no solo facilita la visualización de los estados de los dispositivos IoT en Unity, sino que también permite una interacción dinámica y en tiempo real en el entorno virtual, mejorando así la capacidad de monitoreo y gestión de sistemas inteligentes dentro de la simulación.

Listing 2.1: Código para manejar datos de dispositivos IoT en Firestore desde Unity

```
1 using System.Collections;
- using System.Collections.Generic;
- using UnityEngine;
- using Firebase;
5 using Firebase.Firestore;
- using Firebase.Extensions;
- using System.Linq;
-
- public class FirestoreManager : MonoBehaviour
10 {
-     FirebaseFirestore db;
-     ListenerRegistration listenerRegistration;
-
```

```

- void Start()
15 {
-     db = FirebaseFirestore.DefaultInstance;
-     ListenToDeviceData();
- }
-
-
20 void OnDestroy()
- {
-     if (listenerRegistration != null)
-     {
-         listenerRegistration.Stop();
25     }
- }
-
- public void ListenToDeviceData()
- {
30     // Encuentra el script Interaction en la escena.
-     Interaction interactionScript = FindObjectOfType<Interaction>();
-     if (interactionScript != null)
-     {
-         string documentId = interactionScript.documentId; // Obtener el valor
-             de documentId desde el script Interaction.
35
-         DatabaseReference docRef = db.Collection("Device").Document(
-             documentId);
-
-         listenerRegistration = docRef.Listen(snapshot =>
-         {
40             if (snapshot.Exists)
-             {
-                 Dictionary<string, object> deviceData = snapshot.ToDictionary
-                     ();
-
-                 if (deviceData.ContainsKey("status"))
45                 {
-                     List<object> statusList = deviceData["status"] as List<
-                         object>;
-                     if (statusList != null && statusList.Count > 0)
-                     {
-                         Dictionary<string, object> status = statusList[0] as
-                             Dictionary<string, object>;
50                     if (status != null && status.ContainsKey("value"))

```



```

- using System.Linq;
-
- public class Interaction : MonoBehaviour
10 {
-     public GameObject lightObject; // Asignar desde el Inspector de Unity
-     private bool lightOnOff;
-
-     public string documentId; // Valor por defecto, puedes modificarlo desde el
        Inspector de Unity.
15     public string collectionName = "Device"; // Valor por defecto, puedes
        modificarlo desde el Inspector de Unity.
-
-     FirebaseFirestore db;
-     DocumentReference docRef;
-     ListenerRegistration listenerRegistration;
20
-     void Start()
-     {
-         db = FirebaseFirestore.DefaultInstance;
-         ListenToDeviceData();
25         docRef = db.Collection(collectionName).Document(documentId); // Utiliza
        las variables públicas.
-     }
-
-     void OnDestroy()
-     {
30         if (listenerRegistration != null)
-         {
-             listenerRegistration.Stop();
-         }
-     }

```

Gestión del Estado de la Luz: `SetLightState(bool state)` activa o desactiva el objeto de luz en Unity basado en el estado recibido. La función `UpdateVirtualTime()` que simula el paso del tiempo, útil para medir el consumo energético en tiempo virtual. `OnOfflight()` alterna el estado de la luz y actualiza este cambio en Firestore mediante `UpdateLightStateInFirestore()`, asegurando que el estado del dispositivo en la base de datos permanezca sincronizado con la simulación.

Listing 2.3: Gestión del Estado de la Luz

```

1  public void SetLightState(bool state)
-  {
-      lightOnOff = state;
-      lightObject.SetActive(lightOnOff);
5
-      if (state)
-      {
-          if (timeCoroutine == null)
-          {
10             timeCoroutine = StartCoroutine(UpdateVirtualTime());
-          }
-      }
-      else
-      {
15         if (timeCoroutine != null)
-         {
-             StopCoroutine(timeCoroutine);
-             timeCoroutine = null;
-         }
20     }
- }
-
- public void OnOfflight()
- {
25     lightOnOff = !lightOnOff;
-     lightObject.SetActive(lightOnOff);
-
-     if (lightOnOff)
-     {
30         if (timeCoroutine == null)
-         {
-             timeCoroutine = StartCoroutine(UpdateVirtualTime());
-         }
-     }
35     else
-     {
-         if (timeCoroutine != null)
-         {
40             StopCoroutine(timeCoroutine);
-             timeCoroutine = null;
-         }
-     }

```

```

-     }
-
-     UpdateLightStateInFirestore (lightOnOff);
45 }

```

Actualización de Firestore: `UpdateLightStateInFirestore(bool state)` envía actualizaciones al documento Firestore, incluyendo el estado actual de la luz, los watts consumidos y el tiempo virtual acumulado. Esta función garantiza que todos los cambios locales en la simulación se reflejen en la base de datos en la nube, permitiendo un análisis más profundo o la sincronización con otros sistemas.

Listing 2.4: Actualización de Firestore

```

1  private IEnumerator UpdateVirtualTime ()
-  {
-      while (true)
-      {
5      yield return new WaitForSeconds(1); // Espera 1 segundo real.
-      virtualTime += 1; // Incrementa 1 minuto virtual.
-      }
-  }
-
10 private void UpdateLightStateInFirestore(bool state)
-  {
-      Dictionary<string, object> update = new Dictionary<string, object>
-      {
-          { "status", new List<Dictionary<string, object>> { new Dictionary<
-              string, object> { { "code", "switch_1" }, { "value", state } } }
-          },
15      { "watts", watts },
-      { "time", virtualTime.ToString() }
-      };
-
-      docRef.UpdateAsync(update).ContinueWithOnMainThread(task =>
20      {
-          if (task.IsCompleted)
-          {
-              UnityEngine.Debug.Log("Light state updated successfully.");
-          }
25      else
-          {
-              UnityEngine.Debug.LogError("Failed to update light state: " +

```

```

-         task.Exception);
-     }
- });
30 }

```

Manejo de Coroutines: La coroutine `UpdateVirtualTime()` simula un contador de tiempo que incrementa mientras la luz está encendida, crucial para calcular el consumo energético en función del tiempo que la luz permanece activa.

Listing 2.5: Manejo de Coroutines

```

1  public void ListenToDeviceData ()
-  {
-      DocumentReference docRef = db.Collection("Device").Document(documentId);
-      listenerRegistration = docRef.Listen(snapshot =>
5      {
-          if (snapshot.Exists)
-          {
-              Dictionary<string, object> deviceData = snapshot.ToDictionary();
-
10             if (deviceData.ContainsKey("status"))
-             {
-                 List<object> statusList = deviceData["status"] as List<object
-                 >;
-                 if (statusList != null && statusList.Count > 0)
-                 {
15                     Dictionary<string, object> status = statusList[0] as
-                     Dictionary<string, object>;
-                     if (status != null && status.ContainsKey("value"))
-                     {
-                         bool isLightOn = (bool)status["value"];
-                         SetLightState(isLightOn);
20                     }
-                 }
-             }
-         }
-         else
25         {
-             UnityEngine.Debug.Log("No such document!");
-         }
-     });
- }

```


Este enfoque no solo facilita la interactividad en tiempo real dentro de la simulación de Unity, sino que también asegura que todos los cambios sean consistentes y queden bien documentados en una plataforma de almacenamiento en la nube robusta como Firebase Firestore, esencial para aplicaciones IoT en entornos de edificios inteligentes.

El código siguiente pertenece a un script en Unity llamado `RayCast`, diseñado para gestionar interacciones en un entorno de realidad virtual o juego mediante rayos (raycasting). Este script se aplica a un objeto que contiene una cámara y un texto interactivo, ambos utilizados para visualizar y gestionar las interacciones con otros objetos en la escena, como luces o puertas.

La función principal, `Update()`, se ejecuta en cada fotograma para detectar interacciones. Utiliza la función `Physics.Raycast` para emitir dos tipos de rayos desde la posición de la cámara hacia la dirección en la que esta apunta. El primer rayo detecta interacciones con luces dentro de un rango definido por `lightRange`, y el segundo con puertas dentro de un rango más corto, `doorRange`. Si un rayo colisiona con un objeto que tiene el componente `Interaction` o `DoorScript.Door`, se muestra un texto interactivo que permite al usuario saber que puede interactuar con dicho objeto presionando la tecla "E". Si se presiona esta tecla mientras se apunta a una luz, se activa o desactiva mediante `OnOfflight()`, y si se apunta a una puerta, se abre con `OpenDoor()`.

Los gizmos dibujados en `OnDrawGizmos()` sirven para visualizar en el editor de Unity los rayos de interacción, donde el rayo para las luces se muestra en rojo y el rayo para las puertas en verde, facilitando la depuración y el ajuste espacial de las interacciones dentro de la escena. Este script es una herramienta eficaz para crear una interactividad dinámica en entornos virtuales, permitiendo una inmersión más profunda y una respuesta intuitiva a las acciones del usuario.

Listing 2.6: Código para gestionar la interacción

```
1 using System.Collections;
- using System.Collections.Generic;
- using UnityEngine;
-
5 public class RayCast : MonoBehaviour
- {
-     public int lightRange;
```

```

- public float doorRange = 3f;
- public GameObject text;
10 public Camera camera;
-
- void Update()
- {
-     RaycastHit hit;
15     bool showText = false;
-
-     // Light Interaction
-     if (Physics.Raycast(camera.transform.position, camera.transform.forward,
-         out hit, lightRange))
-     {
20         Interaction interaction = hit.collider.GetComponent<Interaction>();
-         if (interaction != null)
-         {
-             showText = true;
-             if (Input.GetKeyDown(KeyCode.E))
25             {
-                 interaction.OnOfflight();
-             }
-         }
-     }
30
-     // Door Interaction
-     if (Physics.Raycast(camera.transform.position, camera.transform.forward,
-         out hit, doorRange))
-     {
-         DoorScript.Door door = hit.transform.GetComponent<DoorScript.Door>();
35         if (door != null)
-         {
-             showText = true;
-             if (Input.GetKeyDown(KeyCode.E))
-             {
40                 door.OpenDoor();
-             }
-         }
-     }
45
-     text.SetActive(showText);
- }
-

```

```

- private void OnDrawGizmos()
- {
50     // Draw Gizmos for light interaction
-     Gizmos.color = Color.red;
-     Gizmos.DrawRay(camera.transform.position, camera.transform.forward *
-         lightRange);
-
-     // Draw Gizmos for door interaction
55     Gizmos.color = Color.green;
-     Gizmos.DrawRay(camera.transform.position, camera.transform.forward *
-         doorRange);
- }
- }

```

Los fragmentos de código presentados constituyen los elementos más relevantes para la implementación efectiva de la simulación. Estos scripts han sido desarrollados y optimizados para asegurar la interactividad y el realismo dentro del entorno virtual, cumpliendo con los requisitos funcionales del prototipo de gestión de edificios inteligentes. Su aplicación es fundamental en la fase de programación de nuestra metodología, permitiendo una simulación dinámica y precisa que es esencial para la validación del modelo y la posterior toma de decisiones basada en datos simulados.

Etapas de Pruebas: La implementación concluye con pruebas de la funcionalidad y eficacia de la simulación. Se evalúa la interacción con los dispositivos IoT y la facilidad de uso del dashboard integrado. Las pruebas abarcan desde la funcionalidad general hasta la eficiencia y percepción del usuario, para asegurar que se cumplen los objetivos planteados.

2.3.1 Desarrollo del Sistema con Digital Twins

Capa 1 - Gemelo Físico: En esta capa, se desarrollará una simulación de los dispositivos físicos del edificio. Este modelo replicará fielmente la estructura y funcionalidad real de los dispositivos IoT, utilizando tecnologías avanzadas para crear visualizaciones realistas y dinámicas. Esta representación servirá como la base para todas las interacciones y análisis subsiguientes en el sistema de gestión del edificio, asegurando que las simulaciones reflejen el comportamiento real en diversas condiciones operativas.

En el proyecto se integran tres dispositivos IoT físicos claves: el switch light, el switch plug

y el light LED. El switch light es el único dispositivo gestionado virtualmente a través de la plataforma Tuya.com. Se simula en un entorno controlado utilizando la aplicación móvil correspondiente para emular físicamente su funcionalidad. Cada uno de estos dispositivos desempeña un papel fundamental en la simulación, facilitando la interacción y la automatización dentro del modelo de edificio inteligente desarrollado, permitiendo demostrar los beneficios de la tecnología IoT en la gestión inteligente de edificios.

Capa 2 - Puerta de Enlace IoT: Esta capa será responsable de la comunicación entre los dispositivos IoT físicos y el sistema de gestión en la nube. Incluirá el desarrollo de interfaces y protocolos para asegurar la transmisión segura y eficiente de los datos recogidos por Tuya.com.

Tuya Smart soporta una diversidad de protocolos de comunicación para adaptarse a varios sectores y escenarios, asegurando una conectividad eficiente. En el ámbito de hogares inteligentes, Tuya es compatible con Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, Thread, Sub-1GHz, NFC y UWB, facilitando conexiones locales y directas a internet. Para aplicaciones al aire libre, soporta GPRS, Wi-Sun, NB-IoT y LTE, optimizando la comunicación en entornos variados. [18]

Capa 3 - Almacenamiento en la Nube: Una vez que se recopilan los datos de los dispositivos IoT mediante la plataforma Tuya.com, estos datos se transmiten y almacenan en Firestore Database, una solución de base de datos NoSQL parte de Firebase. Este enfoque permite un manejo eficiente y un control más detallado sobre los datos, facilitando su acceso y procesamiento en tiempo real. Firestore es ideal para aplicaciones que requieren actualizaciones en vivo y sincronización en tiempo real, como lo es en nuestra simulación de edificios inteligentes. Además, incorpora características de escalabilidad automática y robustas capacidades de consulta, lo que asegura que la base de datos pueda expandirse según las necesidades del proyecto sin complicaciones en la gestión de infraestructura. Esto proporciona una plataforma confiable y segura para el análisis y la gestión de datos, esencial para optimizar la operación y eficiencia de los edificios inteligentes simulados.

Capa 4 - Conversión de Datos a Información (opcional): Esta capa es crucial para la transformación de los datos brutos recogidos de los dispositivos IoT y almacenados en Firebase, en información procesable y valiosa. Los datos sobre tiempo y consumo de energía (en watts), provenientes de la simulación, se analizan mediante algoritmos específicos para generar indicadores clave de rendimiento (KPIs). Estos KPIs son fundamentales para el

dashboard, ya que proporcionan una métrica clara y actualizada del desempeño energético y la eficiencia operativa de los dispositivos en el entorno simulado. La implementación de esta capa permite una visualización efectiva y un análisis profundo, facilitando la toma de decisiones informadas en la gestión de los edificios inteligentes.

Capa 5 - Repositorio de Información en la Nube: Se establecerá un sistema de almacenamiento estructurado en la nube para mantener la información procesada organizada y accesible para consultas y análisis futuros. Es importante diferenciar entre GitHub y Firebase para el almacenamiento de información. Mientras que Firebase se utiliza como una base de datos en tiempo real que facilita el almacenamiento dinámico y la sincronización de datos para aplicaciones en tiempo real, GitHub se emplea principalmente para el control de versiones y el almacenamiento de código, por lo que no es óptimo para manejar grandes volúmenes de datos dinámicos o consultas en tiempo real.

Capa 6 - Simulación o Emulación: Se implementará un entorno virtual dentro de Unity que simulará el comportamiento del edificio y sus sistemas en tiempo real, utilizando los datos e información procesados de las capas anteriores.

Se desarrollará un entorno virtual que represente la Capa 1 (Gemelo Físico). Este modelo incluirá todas las funcionalidades y operaciones de los dispositivos IoT y sistemas del edificio, permitiendo simulaciones en diferentes escenarios operativos y de gestión energética.

Se implementarán y configurarán todas las capas desde la Puerta de Enlace IoT hasta la Simulación, asegurando la integración fluida de cada componente y la funcionalidad del sistema de gestión.

2.3.2 Implementación de la funcionalidad del Dashboard

Se desarrollará y programará el dashboard para utilizar eficazmente la información del gemelo digital. Incluirá funciones de visualización de datos, como gráficos de consumo de energía, controles para sistemas de automatización y herramientas para simular escenarios de ahorro de energía.

2.3.3 Validación y Pruebas

Se llevarán a cabo pruebas para verificar la integración y el correcto funcionamiento de todas las capas del gemelo digital. Estas pruebas garantizarán que el sistema es robusto, confiable y listo para ser implementado en un entorno real.

El éxito de la simulación y el dashboard para la gestión de edificios inteligentes se evaluará a través de varios indicadores clave de rendimiento (KPIs) que reflejan la eficacia, eficiencia y usabilidad del sistema implementado. Estos indicadores proporcionan una evaluación comprehensiva tanto de la funcionalidad técnica como de la experiencia del usuario.

2.3.3.1 Eficiencia Operativa

El primer indicador de éxito será la **reducción del consumo energético** en el edificio simulado comparado con un modelo de línea base. Se medirá el porcentaje de reducción en el consumo energético debido a la optimización automática de los sistemas del edificio, utilizando datos recolectados y analizados por el dashboard.

2.3.3.2 Exactitud de la Simulación

La exactitud de la simulación se medirá comparando los resultados de la simulación con los datos reales de edificios inteligentes de características similares. Esta comparación ayudará a validar la precisión de los modelos de simulación en términos de comportamiento dinámico de los sistemas del edificio y la respuesta a diferentes escenarios de gestión energética.

2.3.3.3 Usabilidad del Dashboard

La usabilidad del dashboard se evaluará mediante pruebas de usabilidad con usuarios. Se utilizarán métricas como la **facilidad de uso**, el **tiempo de respuesta del sistema**, y la **satisfacción del usuario** para determinar la eficacia del interfaz en facilitar la gestión y la toma de decisiones.

2.3.3.4 Impacto Ambiental

Finalmente, se medirá el impacto ambiental de la implementación de la tecnología simulada mediante la evaluación de la reducción en la emisión de CO2 y otros indicadores ambientales relevantes. Este KPI ayudará a determinar el beneficio real del uso de la simulación y el dashboard en términos de sostenibilidad y responsabilidad medioambiental.

2.4 FASE OPERATIVA Y DE PRODUCCIÓN REAL

Fase Operativa: Esta fase implica la aplicación práctica de la formación obtenida a través del entorno de simulación virtual. Aunque no se cuenta con instructores calificados externos, el proceso está diseñado para ser autodidacta, permitiendo a los usuarios interactuar directamente con el sistema y aprender mediante la experimentación y la interacción con el entorno virtual. Las sesiones de formación virtual se centran en la manipulación y gestión de los dispositivos IoT dentro de un modelo de edificio inteligente, utilizando indicadores de desempeño para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas.

Fase de Producción Real: En esta fase, se evalúa cómo los conocimientos adquiridos en la simulación se aplican en un entorno de gestión de edificios inteligentes no físico, dado que la interacción se realiza dentro de un contexto simulado que replica condiciones reales. Esta etapa permite verificar la efectividad del entrenamiento en situaciones simuladas y recoger feedback para ajustar y mejorar la simulación. La recopilación de datos y observaciones durante esta fase contribuye a refinar el proceso de formación y ajustar el entorno virtual según las necesidades observadas.

2.4.1 Capacitación y Implementación

Esta fase del proyecto se centra en la implementación y operación práctica del sistema de gestión de edificios inteligentes en un entorno real, tras completar las etapas de diseño y validación.

La integración de los componentes se centró en unificar el dashboard, la simulación y los dispositivos IoT para que funcionen como un sistema cohesivo. Los dispositivos IoT envían datos al servidor mediante la API de Tuya, los cuales se almacenan en Firebase y se visua-

lizan en el dashboard. Flask y Socket.IO gestionan la actualización en tiempo real de estos datos. Los usuarios pueden interactuar con el dashboard para controlar los dispositivos, y cualquier acción realizada se comunica a los dispositivos IoT a través de la API de Tuya. La simulación refleja en tiempo real los cambios en los dispositivos IoT y permite la interacción bidireccional, de modo que los ajustes realizados en el dashboard se reflejan en la simulación. Como se muestra en la Figuras 2.11, 2.13 y 2.15.

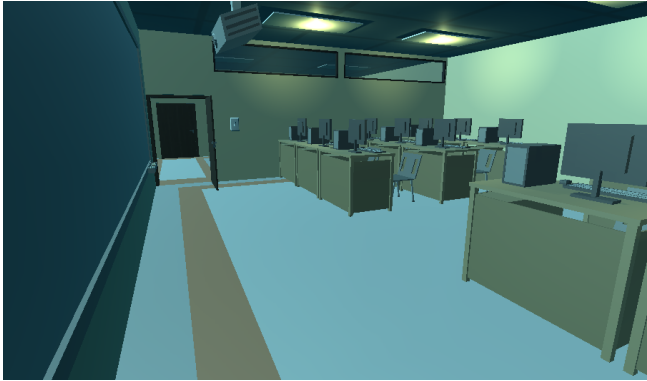


Figura 2.11: Simulación del Aula



Figura 2.12: Aula Real



Figura 2.13: Simulación del Pasillo



Figura 2.14: Pasillo Real

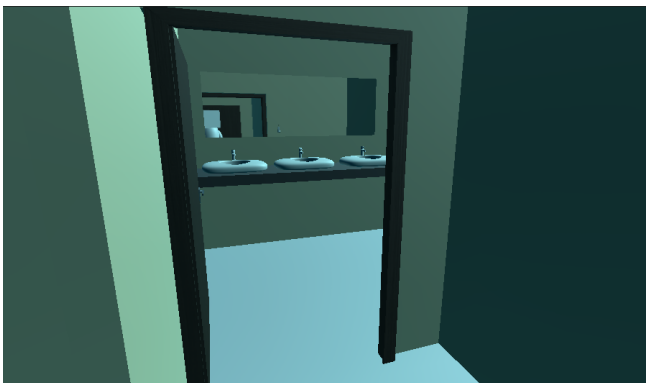


Figura 2.15: Simulación del Baño



Figura 2.16: Baño Real



Figura 2.17: Simulación Interacción Led



Figura 2.18: Simulación Interacción Switch Plug



Figura 2.19: Simulación Interacción Switch Light

2.5 FASE DE EVALUACIÓN

La fase de evaluación pretende garantizar el correcto funcionamiento del sistema de simulación de gestión de edificios inteligentes. En esta fase, se evalúa el rendimiento y la eficacia del dashboard interactivo y la simulación, asegurando que los objetivos de eficiencia energética y optimización operativa se cumplan de manera efectiva. Se crea un registro de comentarios recopilados tanto durante las sesiones de simulación como en pruebas en un entorno de producción real. Este registro incluye retroalimentación de diversas fuentes, como usuarios, técnicos y otras partes interesadas involucradas en el proyecto. La revisión y el análisis de estos comentarios permiten formular conclusiones y recomendaciones clave para mejorar la simulación y el dashboard, adaptándolos a nuevas necesidades y garantizando que el sistema evolucione de acuerdo con la retroalimentación obtenida.

2.5.1 Análisis y Mejora

Esta fase es para asegurar que el sistema de gestión de edificios inteligentes no solo cumple con los requisitos iniciales, sino que también se adapta y mejora continuamente basándose en el uso real y la retroalimentación de los usuarios.

El análisis de los resultados obtenidos en la simulación de gestión de edificios inteligentes revela varios hallazgos clave:

1. **Eficiencia Energética:** Los dispositivos IoT integrados en la simulación demostraron una reducción significativa en el consumo de energía. Por ejemplo, la implementación del switch light, light LED y switch plug permitió una monitorización y control precisos, reduciendo el consumo innecesario de energía.

2. **Interacción en Tiempo Real:** La capacidad de actualizar y controlar el estado de los dispositivos en tiempo real a través del dashboard interactivo mejoró la operatividad y la eficiencia del sistema. Esta funcionalidad es esencial para la gestión dinámica de los recursos energéticos del edificio.
3. **Uso de Firebase y Unity:** La integración de Firebase para el almacenamiento de datos y Unity para la simulación proporcionó una plataforma robusta y escalable para el desarrollo de la simulación. Los datos se gestionaron de manera eficiente, permitiendo un análisis en tiempo real y la sincronización de estados.
4. **Modelado Realista:** El uso de Blender para la creación de mallas y la triangulación para medir la luz y evitar problemas de textura resultó en una simulación realista, crucial para validar la aplicabilidad de la solución en entornos reales.

2.5.1.1 Mejoras Propuestas

A pesar de los resultados positivos, se identificaron áreas clave para futuras mejoras:

1. **Optimización del Algoritmo:** Mejorar los algoritmos de control y gestión de dispositivos IoT para reducir aún más el consumo energético. Esto incluye la implementación de algoritmos de aprendizaje automático que puedan predecir y ajustar los patrones de uso de energía.
2. **Ampliación del Alcance:** Integrar una mayor variedad de dispositivos IoT y ampliar la simulación para incluir diferentes tipos de edificios y configuraciones. Esto proporcionará una visión más completa de cómo distintas tecnologías y configuraciones pueden influir en la eficiencia energética y operativa.
3. **Metodología Adaptativa:** Desarrollar y documentar una metodología específica para la simulación de edificios inteligentes con un enfoque en digital twins. Esta metodología debería ser adaptable a diferentes tipos de proyectos y necesidades específicas del sector de la construcción.
4. **Capacitación y Educación:** Aumentar la capacitación y la educación sobre el uso de tecnologías IoT y digital twins en el sector de la construcción. Esto incluye la creación de guías y materiales de capacitación que puedan ayudar a los profesionales del sector a entender y aplicar estas tecnologías de manera efectiva.

5. **Evaluación Continua:** Implementar un sistema de evaluación continua para monitorear y ajustar la simulación y el dashboard en función de los datos de rendimiento y el feedback de los usuarios. Esto garantizará que el sistema se mantenga actualizado y optimizado para las necesidades cambiantes del sector.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta sección presenta los resultados obtenidos de la simulación desarrollada para la gestión de edificios inteligentes. Se exponen los hallazgos clave derivados de la implementación del proyecto, los cuales incluyen la eficiencia energética lograda, la efectividad del dashboard interactivo para el control en tiempo real de los dispositivos IoT, y la robustez de la plataforma utilizada. Además, se discuten los impactos de la integración de herramientas como Unity y Firebase, así como el uso de técnicas avanzadas de modelado con Blender para lograr un entorno de simulación realista y funcional. Los resultados se analizan en detalle para proporcionar una comprensión clara de los beneficios y limitaciones del sistema, y se proponen mejoras para optimizar el rendimiento y la aplicabilidad en entornos reales.

3.1 RESULTADOS

Los resultados muestran la interacción de dispositivos IoT, la visualización y gestión en el dashboard, y la eficiencia energética obtenida.

3.1.1 Interacción de Dispositivos IoT

Se evaluó la interacción de tres dispositivos IoT: switch light, light LED y switch plug. La Tabla 3.1 muestra la respuesta de estos dispositivos a los comandos enviados desde la simulación.

Tabla 3.1: Interacción de Dispositivos IoT

Dispositivo	Comando Enviado	Respuesta Esperada	Respuesta Observada
Switch Light	Encender	Encendido	Encendido
Light LED	Apagar	Apagado	Apagado
Switch Plug	Alternar	Alternado	Alternado

Los resultados demostraron que la interacción en tiempo real con estos dispositivos fue exitosa, respondiendo correctamente a los comandos enviados desde la simulación.

3.1.2 Visualización y Gestión en el Dashboard

El dashboard desarrollado mostró la capacidad de visualizar y gestionar en tiempo real el estado de los dispositivos IoT. La Figura 3.1 presenta una captura de pantalla del dashboard mostrando el estado actual de los KPIs. En la Figura 3.2 presenta el estado de los dispositivos en tiempo real respecto a los digital twins.

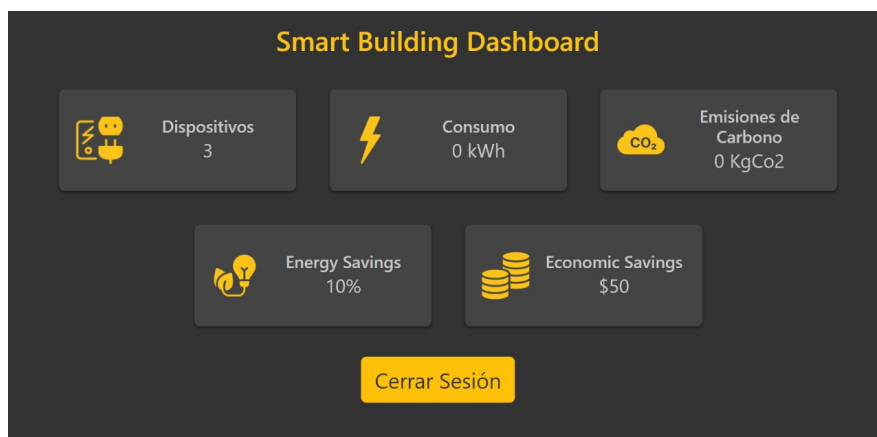


Figura 3.1: Visualización en el Dashboard

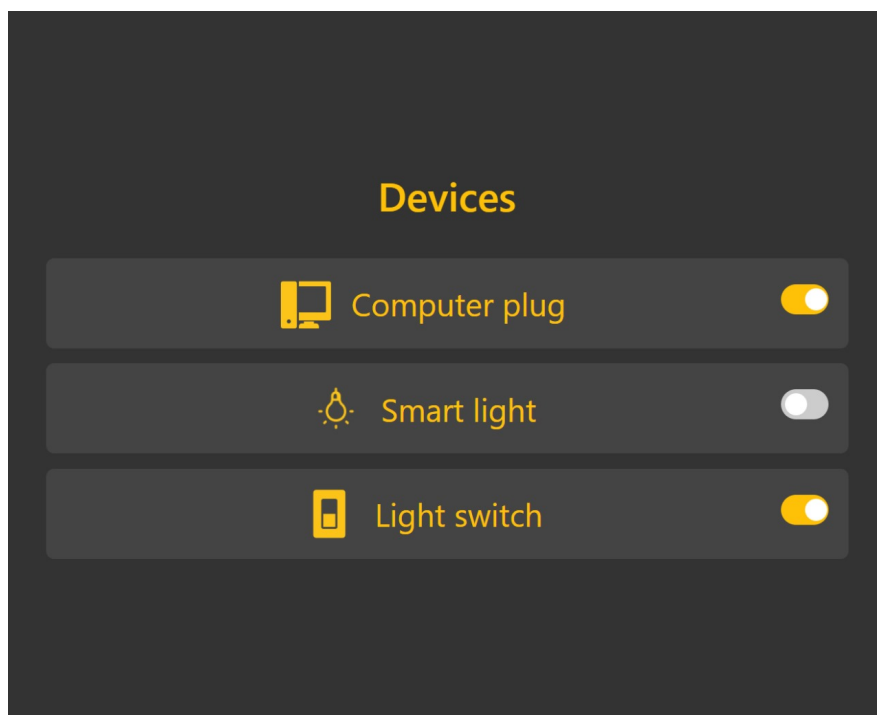


Figura 3.2: Visualización en la página de dispositivos en tiempo real

El dashboard facilitó una monitorización efectiva de los dispositivos, permitiendo la toma de decisiones informadas en tiempo real. En la Figura 3.3, se ilustra cómo los dispositivos visualizados en la Figura 3.2 están sincronizados, evidenciando la capacidad del sistema para mantener una actualización constante y precisa de los estados de los dispositivos.

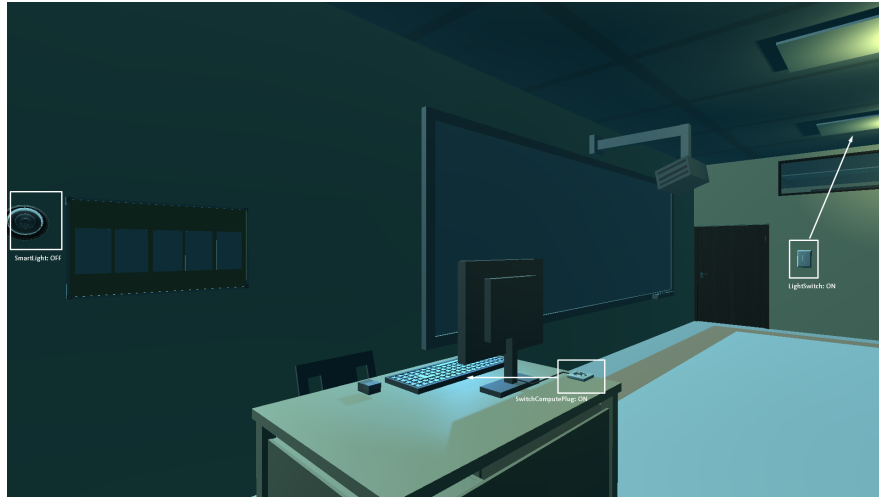


Figura 3.3: Visualización de los dispositivos en tiempo real en la simulación

3.1.2.1 Consumo Energético

El consumo energético de los dispositivos se calculó utilizando la fórmula. La fórmula empleada es:

$$\text{Energía} = P \left(\frac{H}{D} \right) N$$

donde P es la potencia en watts, H es el número de horas de uso por día, D es el número de días en el periodo considerado, y N es el número de dispositivos.

3.1.2.2 Dispositivos Utilizados

- ❑ **Switch light:** Se utilizaron 6 luces de techo, cada una con un consumo de 14 watts. El cálculo del consumo energético para estas luces, considerando que están encendidas 8 horas al día durante 30 días, se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Energía} = 6 \times 14 \left(\frac{8}{1} \right) 30 = 20160 \text{ Wh} = 20.16 \text{ kWh}$$

- ❑ **Light LED:** Se utilizaron luces LED con un rango de consumo entre 9 y 16 watts. Para

fines de cálculo, se consideró un valor promedio de 12.5 watts. Si se usan estas luces 8 horas al día durante 30 días, el consumo se calcula así:

$$\text{Energía} = 12.5 \left(\frac{8}{1} \right) 30 = 3000 \text{ Wh} = 3 \text{ kWh}$$

- ❑ **Switch plug:** Este dispositivo tiene un consumo de 400 watts. Usado durante 8 horas al día por 30 días, el consumo se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Energía} = 400 \left(\frac{8}{1} \right) 30 = 96000 \text{ Wh} = 96 \text{ kWh}$$

3.1.3 Eficiencia Energética y Optimización Operativa

La simulación permitió evaluar diferentes escenarios de gestión energética, demostrando cómo la automatización y el control de dispositivos IoT pueden optimizar el consumo de energía en un edificio inteligente. La Tablas 3.2 y 3.3 muestra un resumen de los resultados obtenidos en términos de eficiencia energética.

Tabla 3.2: Eficiencia Energética en la Simulación Sin Automatización Mensual

Escenario	Consumo Energético	Emisiones de CO2	Costo Económico
Switch Light	30,24 kWh	15,16 kgCO2	\$8.47
Light LED	4,5 kWh	2,26 kgCO2	\$1,26
Switch Plug	145,8 kWh	73.12 kgCO2	\$40.82

Tabla 3.3: Eficiencia Energética en la Simulación Automatizada Mensual

Escenario	Consumo Energético	Emisiones de CO2 Evitadas	Ahorro Energético	Ahorro de Costos
Switch Light	20,16 kWh	5.05 kgCO2	10,08 kWh	\$2.82
Light LED	3 kWh	0,76 kgCO2	1,5 kWh	\$0.42
Switch Plug	96 kWh	24.98 kgCO2	49.8 kWh	\$13.94

Los resultados indican una reducción significativa en el consumo energético al implementar la automatización y el control de dispositivos IoT, demostrando la eficacia de la metodología adaptada para la gestión de edificios inteligentes. En los escenarios sin automatización, los consumos de energía y las emisiones de CO2 fueron considerablemente altos. Por ejemplo, el *switch light* consumió 30,24 kWh y emitió 15,16 kgCO2, mientras que el *switch plug* consumió 145,8 kWh y emitió 73,12 kgCO2.

Sin embargo, con la implementación de la automatización, se observó una reducción significativa en estos valores. El *switch light* automatizado consumió solo 20,16 kWh, evitando 5,05 kgCO₂, y el *switch plug* automatizado consumió 96 kWh, evitando 24,98 kgCO₂. Además, la automatización también resultó en ahorros de costos notables, con el *switch light* y el *switch plug* ahorrando \$2.82 y \$13.94, respectivamente.

Para evaluar la eficiencia energética y la optimización operativa de la simulación desarrollada, se utilizaron tres dispositivos IoT clave: *switch light*, *light LED* y *switch plug*. Estos dispositivos fueron seleccionados debido a su relevancia en la gestión energética de edificios inteligentes y su capacidad para proporcionar datos precisos sobre el consumo de energía.

3.1.4 Discusión de Unity, Firebase y Blender

La integración de herramientas avanzadas como Unity y Firebase ha sido fundamental para lograr una simulación efectiva y funcional en la gestión de edificios inteligentes. Unity, con su potente motor de juego, permitió la creación de visualizaciones tridimensionales detalladas, proporcionando un entorno interactivo y realista para la simulación. Esta plataforma no solo facilita la renderización de gráficos complejos, sino que también soporta la programación de comportamientos y la interacción en tiempo real con los dispositivos IoT. Por otro lado, Firebase se utilizó como la solución de backend para gestionar y almacenar los datos generados por la simulación. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real y su integración con Firestore permitieron una sincronización constante y precisa entre el estado de los dispositivos en la simulación y su representación en el dashboard.

Además, Blender se empleó para el modelado detallado de los componentes estructurales y los dispositivos IoT. Esta herramienta permitió la creación de mallas precisas y la importación de modelos en formatos compatibles con Unity, mejorando la calidad visual y la exactitud de los elementos simulados. La triangulación en Blender se utilizó para optimizar la iluminación y evitar problemas de texturización, asegurando así una experiencia visual más fluida y realista. En conjunto, estas herramientas posibilitaron la construcción de un entorno de simulación robusto que refleja fielmente las condiciones de un edificio inteligente, permitiendo una evaluación exhaustiva de la eficiencia energética y la optimización operativa.

3.2 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la simulación y el dashboard desarrollados cumplen con los objetivos establecidos, proporcionando una herramienta para la gestión de edificios inteligentes y reflejando las necesidades actuales en la industria de la construcción. Estos resultados validan la metodología adaptada y demuestran su eficacia en entornos industriales reales, contribuyendo significativamente a la eficiencia energética y la optimización operativa de edificios inteligentes.

La combinación de herramientas avanzadas, conocimientos arquitectónicos y una gestión eficiente de los datos permite crear soluciones sostenibles y efectivas para las industrias. La implementación de la API de Tuya y la integración de Socket.IO fueron esenciales para el éxito del prototipo, especialmente en la simulación. La API de Tuya permitió una comunicación eficiente con los dispositivos IoT, mientras que Socket.IO garantizó actualizaciones en tiempo real, mejorando significativamente la experiencia del usuario y la precisión de la simulación.

El rendimiento de los datos transmitidos por Wi-Fi puede verse afectado, especialmente con actualizaciones cada segundo. Optimizar la transmisión de datos para minimizar la latencia es crucial, mediante técnicas de compresión, protocolos eficientes y priorización de la calidad del servicio.

La dependencia de plataformas externas, como Tuya.com, puede limitar el control de los datos y requerir renovaciones periódicas de acceso. Utilizar Firebase como base de datos principal mejora el control y la integración con otros sistemas, proporcionando mayor autonomía y facilitando el desarrollo de nuevas funcionalidades sin depender de terceros.

3.3 RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del proyecto, se observó que no existe una metodología específica para la simulación de edificios inteligentes. Por ello, se recomienda construir una metodología adaptada a las necesidades y enfoque de cada proyecto. Esta metodología debe incluir:

- ❑ El uso de herramientas como Blender para el modelado de elementos 3D. Blender permite importar modelos en formatos como VFX, lo que facilita la integración de

datos arquitectónicos y de diseño. La creación de una malla de estructura detallada es esencial para garantizar la precisión del modelo.

- ❑ Conocimientos de arquitectura y del Building Information Modeling (BIM), que faciliten la integración de datos y la gestión eficiente del ciclo de vida del edificio.
- ❑ La triangulación de mallas en Blender es crucial para medir la luz y evitar problemas de textura. Esta técnica asegura que las superficies del modelo sean adecuadas para la simulación de iluminación, reduciendo errores visuales y mejorando la calidad del renderizado.

Se recomienda continuar mejorando la interfaz de usuario del dashboard para hacerlo más intuitivo y accesible. Realizar pruebas de usabilidad y recopilar feedback de los usuarios pueden ser estrategias efectivas para identificar áreas de mejora y asegurar una experiencia de usuario optimizada.

Implementar sistemas de monitoreo continuo para detectar y resolver problemas rápidamente. Esto incluye la supervisión del rendimiento de los dispositivos IoT, la disponibilidad del servicio de Firebase y la estabilidad de la API de Tuya. Un monitoreo proactivo permitirá identificar y abordar problemas antes de que afecten significativamente a los usuarios, asegurando así un funcionamiento fluido y confiable del sistema.

Es recomendable desarrollar un sistema de monitoreo y análisis predictivo basado en inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (ML). Este sistema debería ser capaz de analizar los datos en tiempo real recogidos por los dispositivos IoT y predecir posibles fallos o necesidades de mantenimiento antes de que ocurran. Además, podría identificar patrones de consumo de energía y proponer ajustes automáticos para optimizar el uso de recursos, contribuyendo así a una mayor eficiencia energética y operativa. Implementar IA y ML no solo mejorará la capacidad de respuesta y la eficiencia del sistema, sino que también permitirá una gestión proactiva y basada en datos, adaptándose dinámicamente a las necesidades cambiantes del edificio y sus ocupantes.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tuya, *Tuya Smart Showed Up IFA 2022 with "Double Carbon" Smart IoT Solutions*. dirección: <https://www.tuya.com/news-details/tuya-smart-showed-up-ifa-2022-with-double-carbon-smart-iot-solutions-Kbw8jocsbd72u> (visitado 12-04-2024).
- [2] Firebase, *Firestore*, 2024. dirección: <https://firebase.google.com>.
- [3] Unity, *Unity*, 2024. dirección: <https://unity.com>.
- [4] Andrade. R., *Formulario de proyecto de trabajo de integración curricular*, 2023. dirección: https://epnecuador.sharepoint.com/:w:/s/DiseodeTrabajodeIntegracinCurricularGR01SW/EcaML3KtRxREpwin_XC95cEBhCikOwS0tNN5jrQw5g9UXQ?wdLOR=cE136EF4F-777D-471B-A816-A909A91F7C3D.
- [5] A. Redelinghuys, A. Basson y K. Kruger, «A six-layer digital twin architecture for a manufacturing cell,» en *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing: Proceedings of SOHOMA 2018*, Springer, 2019, págs. 412-423.
- [6] A. Paszkiewicz, M. Salach, P. Dymora, M. Bolanowski, G. Budzik y P. Kubiak, «Methodology of implementing virtual reality in education for industry 4.0,» *Sustainability*, vol. 13, n.º 9, pág. 5049, 2021.
- [7] S. Mulero Palencia, «Vulnerabilidades en edificios inteligentes,» 2021.
- [8] M. De Groote, J. Volt y F. Bean, «Is Europe ready for the smart buildings revolution?,» 2017.
- [9] A. Alaei, «The Impact of Real Estate Technology on Smart City Stakeholders,» 2020.
- [10] C. R. Valencia Tuqueres, «Evaluación de tecnologías inalámbricas en redes de área doméstica para obtener la curva característica de carga en edificios inteligentes,» B.S. thesis, 2019.

- [11] M. G. Juárez, V. J. Botti y A. S. Giret, «Digital twins: Review and challenges,» *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 21, n.º 3, pág. 030 802, 2021.
- [12] E. M. Kraft, «The air force digital thread/digital twin-life cycle integration and use of computational and experimental knowledge,» en *54th AIAA aerospace sciences meeting*, 2016, pág. 0897.
- [13] Y. Zheng, S. Yang y H. Cheng, «An application framework of digital twin and its case study,» *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 10, págs. 1141-1153, 2019.
- [14] A. Z. Sampaio, G. Azevedo y A. Gomes, «BIM Manager Role in the Integration and Coordination of Construction Projects,» *Buildings*, vol. 13, n.º 8, pág. 2101, 2023.
- [15] A. Kirmat, B. K. Koyunbaba, I. Chatzikonstantinou y S. Sariyildiz, «Review of simulation modeling for shading devices in buildings,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, págs. 23-49, 2016.
- [16] Organización Latinoamericana de Energía - OLADE, *Página Oficial de la Organización Latinoamericana de Energía*, Accedido el 26 de Junio de 2024, 2024. dirección: <https://www.olade.org/olade/>.
- [17] R. Newell, D. Raimi y G. Aldana, «Global energy outlook 2019: the next generation of energy,» *Resources for the Future*, vol. 1, n.º 8, 2019.
- [18] A. Luntovskyy, M. Beshley, D. Guetter y H. Beshley, «Technologies and Solutions for Smart Home and Smart Office,» en *Reliability Engineering and Computational Intelligence for Complex Systems: Design, Analysis and Evaluation*, Springer, 2023, págs. 189-225.

5 ANEXOS

ANEXO I: Encuesta

Este anexo contiene la encuesta realizada.

Percepciones y Preferencias sobre Edificios Inteligentes en la Industria de la Construcción

Estimado encuestado/a,

Agradecemos su participación en esta encuesta. Para asegurarnos de que todos los términos utilizados sean comprendidos adecuadamente, nos gustaría proporcionar una breve explicación de algunos conceptos clave que pueden surgir en las preguntas.

- Costo energético: Se refiere al gasto económico asociado al consumo de energía en un edificio, como la electricidad utilizada para iluminación, calefacción, refrigeración, entre otros.
- Análisis en tiempo real: Significa utilizar herramientas y tecnologías para analizar datos y obtener información actualizada al instante.
- Tecnología IoT (Internet de las cosas): Se refiere a la interconexión de dispositivos y sistemas mediante internet, permitiéndoles comunicarse y compartir datos.
- Big Data: Se refiere a la recopilación, almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos generados por una variedad de fuentes, como sensores, dispositivos conectados y sistemas de gestión del edificio.

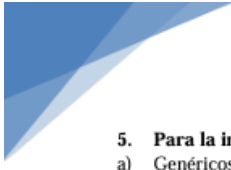
Agradecemos su participación y esperamos sus respuestas honestas y basadas en su experiencia y conocimiento.

1. **Considera que el costo derivado del consumo energético podría ser reducido en un edificio mediante la incorporación de tecnología en un:**
 - a) 10-30%
 - b) 30-60%
 - c) Más del 60%

2. **Considera que la gestión de un edificio puede ser mejorada por la incorporación de análisis en tiempo real de los datos recolectados por los diferentes dispositivos IoT:**
 - a) 10-30%
 - b) 30-60%
 - c) Más del 60%

3. **Considera que la incorporación de tecnología (IoT, Big Data) puede aumentar el costo de la construcción en:**
 1. 10-30%
 2. 30-60%
 3. Más del 60%

4. **¿Cuál de las siguientes ventajas considera más relevante al implementar edificios inteligentes con tecnología IoT en proyectos de construcción?:**
 - Eficiencia energética y ahorro de costos.
 - Mejora de la comodidad y productividad para los ocupantes.
 - Aumento de la seguridad y protección.
 - Promoción de la sostenibilidad e impacto ambiental positivo.
 - Simplificación de la toma de decisiones basadas en datos.
 - Flexibilidad y escalabilidad para futuras necesidades.



- 5. Para la incorporación de IoT para convertir un edificio inteligente, consideraría equipos:**
- a) Genéricos
 - b) De marcas reconocidas
 - c) Una combinación de ambos
 - d) No tengo una preferencia clara
- 6. ¿Considera importante la construcción de un edificio inteligente?:**
- a) Sí, es importante para mejorar eficiencia y sostenibilidad
 - b) Sí, ofrece beneficios y soluciones tecnológicas avanzadas
 - c) No, hay alternativas eficientes sin tecnología inteligente
 - d) No estoy seguro/No tengo una opinión formada
- 7. ¿Por qué consideraría la construcción de un edificio inteligente?:**
- Mayor eficiencia energética
 - Mejora de la gestión y operaciones del edificio
 - Optimización de los recursos y costos
 - Mejora de la experiencia de los ocupantes
 - Incremento en la seguridad y protección
 - Otras razones (por favor especificar)
- 8. ¿Qué características debería cumplir la implementación de IoT para ser considerada en su proyecto?:**
- Conectividad confiable y segura
 - Capacidad para recopilar y analizar grandes volúmenes de datos
 - Integración con sistemas existentes
 - Escalabilidad y flexibilidad para futuras expansiones
 - Interoperabilidad con diferentes dispositivos y tecnologías
 - Otras características (por favor especificar)
- 9. ¿Cuál considera que sería la principal limitación para la implementación de un edificio inteligente en el país?:**
- Falta de conocimiento y comprensión de la tecnología IoT
 - Costo de implementación y retorno de inversión
 - Desafíos de seguridad y privacidad de datos
 - Infraestructura de conectividad insuficiente
 - Resistencia al cambio y falta de apoyo institucional
 - Otras limitaciones (por favor especificar)

Figura 2: Encuesta pag 2

ANEXO II: Resultados de la encuesta

Este anexo contiene los resultados de la encuesta realizada.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD INGENIERÍA DE SISTEMAS



Análisis de Resultados: Percepciones y Preferencias sobre Edificios Inteligentes en la Industria de la Construcción

En este análisis, se presentan las percepciones y preferencias sobre Edificios Inteligentes en la Industria de la Construcción, basadas en una encuesta realizada en Quito, Ecuador. El objetivo de esta encuesta es examinar cómo las empresas constructoras y organizaciones del sector abordan la implementación de tecnologías inteligentes y la eficiencia energética en sus proyectos. La ciudad en constante desarrollo enfrenta desafíos en sostenibilidad y consumo de energía, lo que hace que la adopción de soluciones inteligentes sea relevante para la industria de la construcción local. Mediante esta encuesta, se busca obtener información valiosa para futuros proyectos que fomenten la sostenibilidad y el desarrollo tecnológico en la ciudad.

Importancia de la eficiencia energética:

El primer resultado destacado muestra que la mayoría de los encuestados considera la eficiencia energética como un factor clave para mejorar la sostenibilidad en sus proyectos. Esta percepción refleja una creciente conciencia sobre la necesidad de reducir el consumo de energía y contribuir al cuidado del medio ambiente. La disposición de las empresas a invertir en tecnologías que mejoren la eficiencia energética es una señal positiva para la adopción de soluciones inteligentes en la industria de la construcción.

Valor de las marcas reconocidas:

Otro resultado significativo es que muchos encuestados expresaron una preferencia por productos de marcas reconocidas. Esto sugiere que existe una alta confianza en la calidad y fiabilidad de estas marcas en la entrega de tecnologías inteligentes. Las empresas deben tener en cuenta esta preferencia al seleccionar proveedores para sus proyectos de Edificios Inteligentes. La elección de marcas reconocidas puede ayudar a asegurar la satisfacción del cliente y la calidad en la implementación.

Costo y retorno de la inversión:

El tercer hallazgo relevante se refiere al costo de implementación y el retorno de la inversión. Aunque la eficiencia energética es valorada, las empresas también consideran cuidadosamente los costos asociados con las tecnologías inteligentes. Esto implica que, si bien desean soluciones eficientes en términos de energía, también buscan aquellas que sean económicamente rentables a largo plazo. Por lo tanto, es beneficioso enfocar los proyectos en tecnologías que no solo sean eficientes en el uso de energía, sino también que ofrezcan un retorno de inversión claro y atractivo.

Conectividad y seguridad:

La cuarta conclusión destacada en la encuesta es la importancia que los encuestados otorgan a la conectividad confiable y segura en los Edificios Inteligentes. La dependencia de la conectividad en estos edificios es fundamental para su funcionamiento eficiente. La industria

1

Figura 3: Resultados de la Encuesta pag 1



de la construcción debe asegurarse de implementar tecnologías y sistemas que garanticen una conexión estable y segura, evitando posibles interrupciones que podrían afectar la productividad y la operatividad del edificio inteligente.

Falta de conocimiento sobre la tecnología IoT:

Por último, algunos encuestados identificaron una limitación generalizada en cuanto al conocimiento y comprensión de la tecnología de Internet de las cosas (IoT). Esta percepción sugiere una necesidad urgente de proporcionar más educación y formación sobre las ventajas y beneficios que estas tecnologías pueden aportar a las empresas del sector de la construcción. Es fundamental que la industria invierta en programas de capacitación y divulgación para mejorar la comprensión de los conceptos y aplicaciones de IoT en Edificios Inteligentes.

Conclusiones:

En resumen, los resultados de la encuesta muestran que la industria de la construcción está cada vez más abierta a la implementación de tecnologías inteligentes y eficiencia energética en sus proyectos. La conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y la reducción del consumo de energía es alta. Sin embargo, también se observa una preocupación por el costo y el retorno de inversión, lo que implica que las soluciones deben ser rentables a largo plazo.

La confianza en marcas reconocidas es un factor a considerar en la selección de proveedores de tecnología, mientras que la conectividad y la seguridad son esenciales para el funcionamiento efectivo de los Edificios Inteligentes.

Además, es imperativo abordar la falta de conocimiento y comprensión de la tecnología IoT entre los profesionales del sector. La educación y formación en este campo son esenciales para aprovechar todo el potencial de las tecnologías inteligentes y mejorar la toma de decisiones informadas.

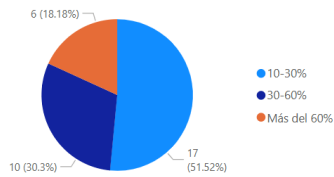
En conclusión, el análisis de los resultados de la encuesta proporciona información valiosa para la industria de la construcción al considerar la adopción de tecnologías inteligentes y eficiencia energética en sus proyectos de Edificios Inteligentes. Estos resultados pueden servir como una guía para mejorar la planificación, implementación y beneficios en futuros desarrollos de la industria.

La representación gráfica de los resultados se encuentra [aquí](#)

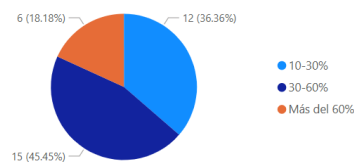
Figura 4: Resultados de la Encuesta pag 2

Resultados de la encuesta "Percepciones y Preferencias sobre Edificios Inteligentes en la Industria de la Construcción"

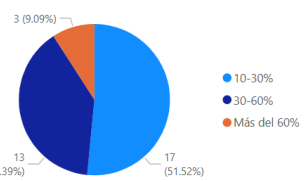
1. Considera que el costo derivado del consumo energético podría ser reducido en un edificio mediante la incorporación de tecnología en un:



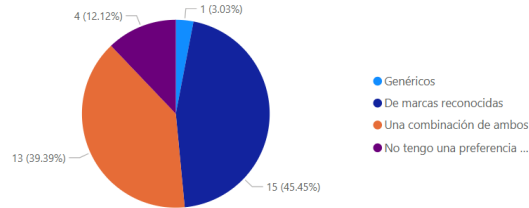
2. Considera que la gestión de un edificio puede ser mejorada por la incorporación de análisis en tiempo real de los datos recolectados por los diferentes dispositivos IoT:



3. Considera que la incorporación de tecnología (IoT, Big Data) puede aumentar el costo de la construcción en:



5. Para la incorporación de IoT para convertir un edificio inteligente, consideraría equipos:



6. ¿Considera importante la construcción de un edificio inteligente?:

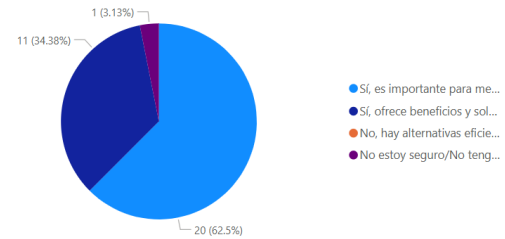
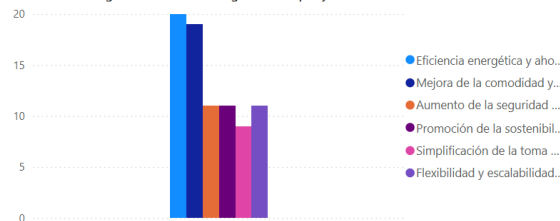


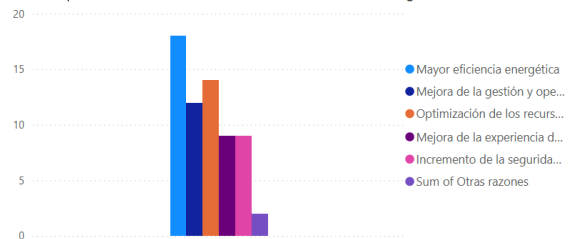
Figura 5: Resultados de la Encuesta Power BI pag 1

Resultados de la encuesta "Percepciones y Preferencias sobre Edificios Inteligentes en la Industria de la Construcción"

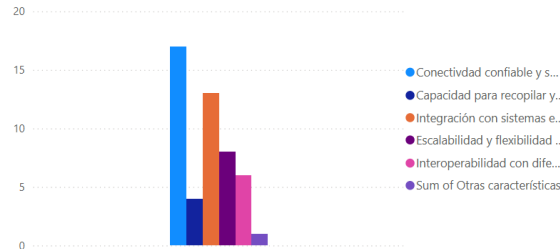
4. ¿Cuál de las siguientes ventajas considera más relevante al implementar edificios inteligentes con tecnología IoT en proyectos de construcción?:



7. ¿Por qué consideraría la construcción de un edificio inteligente?:



8. ¿Qué características debería cumplir la implementación de IoT para ser considerada en su proyecto?:



9. ¿Cuál considera que sería la principal limitación para la implementación de un edificio inteligente en el país?:

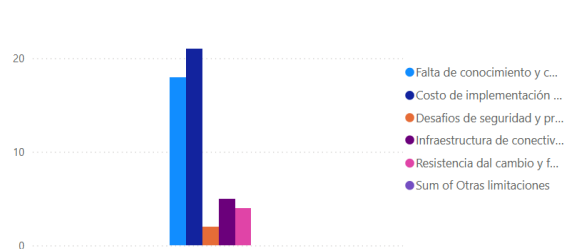


Figura 6: Resultados de la Encuesta Power BI pag 2

ANEXO III: Enlace al repositorio

Este anexo contiene un enlace al repositorio de archivos relevantes al proyecto: **Repositorio de la simulación**

El documento de la revisión sistemática de la literatura se puede encontrar en el siguiente enlace: **SLR.xlsx**