



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

Integración de IoT y Tecnología Operacional para la Mejora
de la Eficiencia en Sistemas Industriales

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Informática

AUTOR/A: Milego de Diego, Cristina

Tutor/a: Manzoni, Pietro

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

El presente trabajo consiste en el desarrollo y aplicación de un marco conceptual para la integración efectiva de el Internet de las Cosas y la Tecnología Operacional. Este trabajo surge de la falta de estándares para el despliegue de un ecosistema del Internet de las Cosas en contextos industriales. El despliegue de este ecosistema puede beneficiar al sector industrial al poder automatizar procesos y optimizar recursos con este.

El marco conceptual se realizará recopilando información sobre la aplicación del Internet de las Cosas y las características de la tecnología en contextos industriales. Además se recopilará información sobre arquitecturas empresariales en el contexto industrial y frameworks del Internet de las Cosas. Una vez definido el marco conceptual, se hará una aplicación de este a una compañía ficticia agroalimentaria y se creará un prototipo de uno de los dispositivos del Internet de las Cosas junto a una simulación del funcionamiento del ecosistema de los dispositivos.

Palabras clave: Internet de las Cosas, Marco Conceptual, Tecnología Operacional, Internet de las Cosas Industrial

Resum

El present treball consistix en el desenvolupament i aplicació d'un marc conceptual per a la integració efectiva de la Internet de les Coses i la Tecnologia Operacional. Este treball sorgix de la falta d'estàndards per al desplegament d'un ecosistema de la Internet de les Coses en contextos industrials. El desplegament d'este ecosistema pot beneficiar al sector industrial en poder automatitzar processos i optimitzar recursos amb este.

El marc conceptual es realitzarà recopilant informació sobre l'aplicació de la Internet de les Coses i les característiques de la tecnologia en contextos industrials. A més es recopilarà informació sobre arquitectures empresarials en el context industrial i frameworks de la Internet de les Coses. Una vegada definit el marc conceptual, es farà una aplicació d'este a una companyia fictícia agroalimentària i es crearà un prototip d'un dels dispositius de la Internet de les Coses al costat d'una simulació del funcionament de l'ecosistema dels dispositius.

Paraules clau: Internet de les Coses, Marc Conceptual, Tecnologia Operacional, Internet de les Coses Industrial

Abstract

This work consists of the development and application of a conceptual framework for the effective integration of the Internet of Things and Operational Technology. This work arises from the lack of standards for the deployment of an Internet of Things ecosystem in industrial contexts. The deployment of this ecosystem can benefit the industrial sector by automating processes and optimizing resources with it.

The conceptual framework will be developed by gathering information on the application of the Internet of Things and the characteristics of the technology in industrial contexts. In addition, information on enterprise architectures in the industrial context and Internet of Things frameworks will be collected. Once the conceptual framework is defined, it will be applied to a fictitious agri-food company and a prototype of one of the Internet of Things devices will be created together with a simulation of the functioning of the ecosystem of devices.

Key words: Internet of Thing, Conceptual framework, Operacional Technology, Industrial Internet of Things

Índice general

Índice general	V
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VII
<hr/>	
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodología	2
1.4 Impacto Esperado	3
1.5 Estructura de la memoria	3
2 Estado del arte	5
2.1 Tecnología Operacional (OT)	5
2.2 El Internet de las Cosas	6
2.3 Conexiones del Internet de las Cosas	6
2.3.1 RFID	7
2.3.2 WiFi	7
2.3.3 LoRaWAN	7
2.3.4 NB-IoT	8
2.3.5 NR-IIoT	8
2.4 Modelos de comunicación	9
2.5 Arquitectura actual	9
2.5.1 IEEE	10
2.5.2 ETSI	10
2.5.3 OneM2M	11
2.5.4 ITU	11
2.6 Propuesta	12
3 Marco Conceptual	13
3.1 Conceptos Fundamentales	13
3.1.1 IoT	13
3.1.2 OT	14
3.1.3 IIoT	14
3.2 Teorías y Modelos	15
3.2.1 Modelo Purdue	15
3.2.2 Framework IIoT	16
3.3 Principios y metodologías	17
3.3.1 Principios de diseño	17
3.3.2 Metodologías para la implementación	17
3.4 Estrategias para manejar los desafíos asociados	19
3.5 Definición del Marco Conceptual	20
3.5.1 Fase 1: Creación del Concepto	20
3.5.2 Fase 2: Definición de la solución	21
3.5.3 Fase 3: Diseño de la solución	21

3.5.4	Fase 4: Implementación	22
3.5.5	Fase 5: Mantenimiento	23
3.6	Supuestos	24
3.6.1	Agricultura Smart	24
3.6.2	Smart Retailing	25
3.7	Objetivos y Resultado Esperados	26
3.8	Consideraciones de Contexto	26
4	Aplicación del marco conceptual	29
4.1	Descripción de la compañía	29
4.2	Aplicación del marco teórico	29
4.2.1	Fase 1: Creación del concepto	30
4.2.2	Fase 2: Definición de la solución	31
4.2.3	Fase 3: Diseño de la solución	35
4.2.4	Fase 4: Implementación	37
4.2.5	Fase 5: Mantenimiento	41
4.3	Evaluación y ajustes	42
5	Implantación	45
5.1	Descripción de hardware	45
5.2	Descripción del código	46
5.3	Pipeline de Amazon Web Services	50
5.3.1	Descripción de los servicios	51
5.3.2	Ventajas e inconvenientes de usar Amazon Web Services	57
6	Implicaciones Éticas	59
6.1	Tratamiento de datos	59
6.2	E-Waste	59
6.3	Asesoramiento ético	60
7	Conclusiones	63
7.1	Resultados obtenidos	63
7.2	Retos	64
7.3	Asignaturas relacionadas	65
7.4	Evaluación y Ajuste del Marco Teórico	65
7.5	Futuras líneas de investigación	66
	Bibliografía	67

Índice de figuras

3.1	Diagrama del modelo de Purdue	27
4.1	Diagrama de casos de uso	35
4.2	Diagramas de actividades de Recolección automática	36
4.3	Diagramas de actividades de Almacenamiento de datos de los árboles	36
4.4	Diagramas de actividades de Monitorización del estado de los árboles	37
4.5	Esquema de conexiones de red	41
5.1	Esquema de conexiones del microcontrolador	47
5.2	Thing creada para el proyecto	48
5.3	Esquema del pipeline para red de IoT	51
5.4	Características del simulador	54
5.5	Regla asociada a la IoT Rule	54
5.6	Descripción de la IoT Rule	54
5.7	Descripción del servicio Amazon MSK	55
5.8	Secreto asociado con MSK	55
5.9	Características del plugin de Kafka	56
5.10	Configuración del conector	56
5.11	Descripción de la base de datos	57

Índice de tablas

3.1	Tabla comparativa de retos y principios de diseño	18
4.1	Análisis SWOT para Naranjas SL	30
4.2	Comparativa de objetivos, problemas del dominio y requerimientos creados	33
4.3	Características del dispositivo de monitorización y mantenimiento de los árboles	38
4.4	Características de los robots recolectores	39
4.5	Características de sacudidores de árboles	40
4.6	Datos recogidos para la monitorización	42
5.1	Asignación de temas MQTT	53

Agradecimientos

Antes de empezar la lectura de este documento, me gustaría agradecer a todas las personas que de alguna manera u otra me han estado acompañando en mis años de máster y en el desarrollo de este trabajo. Primero de todo quiero dar gracias a mi tutor por haberme dado el tiempo y el espacio para realizar este trabajo y por darme siempre un buen feedback y correcciones.

Además, quiero agradecer a las amistades que he hecho a lo largo de mi intercambio académico en Suecia. No solo me motivan para seguir aprendiendo y continuar mi carrera académica si no que también me han mostrado diferentes formas de vivir y de percibir el mundo según diferentes culturas.

Finalmente, quiero dar gracias a mi familia por darme los recursos y el apoyo para realizar este máster. Gracias a todos por estar en los altibajos que ha sido hacer este trabajo en particular y un máster en ingeniería en general.

Tack för alla

CAPÍTULO 1

Introducción

El presente trabajo consiste en el desarrollo y aplicación de un marco conceptual para la integración efectiva de el Internet de las Cosas (IoT) y la Tecnología Operacional (OT). Este trabajo surge de la falta de estándares para el despliegue de un ecosistema del Internet de las Cosas en contextos industriales. El desarrollo y despliegue de esta tecnología puede permitir la optimización de recursos y la automatización de procesos en los procesos industriales.

El marco conceptual se realizará recopilando información sobre la aplicación del Internet de las Cosas en el contexto industrial y las características de los actuales despliegues. Además se recopilará información sobre teorías y modelos relacionados con tanto el procesos industriales como la tecnología del Internet de las Cosas Industrial (IIoT). Esta información se complementa con principios de diseño y metodologías de implementación del IIoT. Finalmente, con la información recabada se desarrollo el marco conceptual para la integración de IoT y OT.

A causa de la falta de acceso a una empresa con procesos industriales, se definirá el despliegue de una empresa ficticia agroalimentaria con datos sobre el funcionamiento de esta y los pasos marcados por el marco conceptual desarrollado. Además, en esta fase se desarrollará un dispositivo IoT como demostración de que elementos podrían formar parte en un ecosistema de IIoT a parte de una propuesta de implementación de dicho ecosistema. Finalmente, también se hará una reflexión sobre las implicaciones éticas de estos despliegues centrándose en los aspectos del tratado de datos, el e-waste y el uso de profesionales de la ética para asesorar sobre el despliegue.

1.1 Motivación

Durante el desarrollo de tecnología del Internet de las Cosas, se vio su potencial de conectar diferentes dispositivos distribuidos por infraestructuras de contextos industriales. Estos dispositivos pueden recoger y transmitir información sobre el estado del entorno y así poder optimizar procesos con la información disponible a tiempo real. Además, el auge de los últimos años de la Inteligencia Artificial y el la tecnología Big Data hace que con la información recogida a tiempo real se pueda utilizar para hacer predicciones sobre la producción o el mantenimiento de la maquinaria. Esto significa que el desarrollo de esta tecnología tiene un gran potencial ya que con más información sobre el estado actual y futuro de la cadena de producción se puede tener una toma de decisiones más informada en el contexto industrial [1].

Además, el uso de esta tecnología favorece la convergencia entre la digitalización y el desarrollo sostenible, al incrementar la eficiencia con costos reducidos. La combinación de sostenibilidad y digitalización abre una amplia gama de oportunidades que aún no han sido plenamente exploradas [2]. Por lo tanto, organizaciones y proyectos con la Agenda 2030 europea,

animan a la aplicación de la tecnología IoT en contextos industriales ya que puede ser fundamental para el cumplimiento de sus objetivos de sostenibilidad y eficiencia ya que la implementación de esta tecnología puede mejorar significativamente la gestión de recursos, la optimización de servicios y el fomento un crecimiento industrial más sostenible.

No obstante, la mayoría de las empresas tienen conocimiento limitado sobre la adopción de esta tecnología y como se aplicaría a ella aún sabiendo las ventajas que tiene su aplicación [3]. Por lo tanto, lo que se quiere conseguir con el presente trabajo es desarrollar una hoja de ruta para la aplicación de esta tecnología en los procesos industriales mediante un marco conceptual; considerando aspectos clave como la seguridad, la interoperatividad y la escalabilidad.

1.2 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Investigar y analizar las tecnologías actuales de IoT y OT utilizadas en la industria, identificando sus características, ventajas y desafíos.
- Desarrollar un marco conceptual para la integración efectiva de IoT y OT en entornos industriales, considerando aspectos como la seguridad, la interoperabilidad y la escalabilidad.
- Aplicar el marco conceptual a un sector industrial para diseñar una solución específica que demuestre cómo la integración de IoT y OT puede mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones.
- Implementar un prototipo o simulación de la solución propuesta y realizar pruebas para validar su efectividad, eficiencia y seguridad.

1.3 Metodología

El proceso por el cual se ha desarrollado este trabajo es el siguiente:

1. Primero se ha buscado de información sobre OT y IoT junto a diferentes metodologías, modelos y teorías de diseño e implantación. En base a la información recogida se han cogido los mejores aspectos de los diferentes modelos para crear y definir el marco conceptual.
2. Una vez definido el marco conceptual, se ha seguido este para aplicarlo a una empresa ficticia con procesos industriales. Se ha explicado en detalle de que forma se siguen los pasos del marco conceptual y los resultados que este da.
3. En base a la aplicación del marco teórico, como parte de uno de los pasos de este, se ha desarrollado un prototipo experimental como ejemplo de dispositivo que estaría presente en el ecosistema de IIoT. Además, se ha desarrollado una simulación y una propuesta de implementación del pipeline de la aplicación del marco teórico.
4. Finalmente, se ha hecho una reflexión sobre algunos de los posibles problemas éticos que pueden aparecer en el despliegue del ecosistema desarrollado buscando información sobre ello y se han dado posibles soluciones al respecto.

1.4 Impacto Esperado

El impacto esperado del presente trabajo es que marco conceptual elaborado sirva de empuje para el desarrollo estandarizado de IoT en contextos industriales para que estos ecosistemas se adapten a las necesidades de los procesos industriales y se maximice el aprovechamiento de los recursos. Además, se pretende mostrar y animar a empresas emergentes y de zonas más atrasadas tecnológicamente a aplicar IIoT en sus procesos industriales y fomentar la innovación continua y sostenible.

Asimismo, con adopción de esta tecnología luego puede dar pie al uso de otras tecnologías como el análisis de Big Data e Inteligencia Artificial para predecir y resolver problemas antes de que ocurran, incrementando así la eficiencia y la competitividad en el mercado global. Este enfoque holístico permite a las industrias mantenerse a la vanguardia además de contribuir significativamente a un desarrollo sostenible y equilibrado a nivel mundial, alineándose con los objetivos de la Agenda 2030.

1.5 Estructura de la memoria

El presente trabajo está dividido en siete capítulos y un anexo:

- **Introducción:** En este capítulo se ha explicado las premisas y motivaciones del presente trabajo. A continuación se han presentado los objetivos que se quieren alcanzar con este trabajo junto a la metodología por la cual se van a conseguir dichos objetivos. Finalmente, se ha definido el impacto esperado con el desarrollo de este trabajo.
- **Estado del arte:** En este capítulo se explica el contexto tecnológico en el cual se basa en presente trabajo. Se expone qué es la tecnología operacional y como se relaciona con el Internet de las Cosas. Además, se explican elementos más técnicos sobre el Internet de las Cosas como modelos de comunicación y arquitecturas. Finalmente se explica la propuesta del marco conceptual.
- **Marco Conceptual:** En este capítulo se expone los elementos en los cuales se basa este trabajo para definir el marco conceptual. Estos elementos son los conceptos fundamentales de las tecnologías, las teorías, modelos, principios y metodologías de las tecnologías definidas anteriormente y diversos supuestos ya existentes juntando IoT y OT. Finalmente se define el marco conceptual junto a sus objetivos, consideraciones y evaluaciones.
- **Aplicación del Marco Teórico:** Se define la implementación del marco conceptual propuesto en una empresa ficticia como ejemplo de su aplicación. Se exponen los pasos y resultados obtenidos en cada fase del marco conceptual.
- **Implantación:** Se muestra el desarrollo de uno de los dispositivos IoT definidos en la aplicación del marco teórico del apartado anterior. Se explica tanto el *hardware* relacionado como el código implementado para este. Además, se muestra una simulación del funcionamiento de los dispositivos presentados en la aplicación del marco teórico.
- **Implicaciones Éticas:** En este capítulo se discute el aspecto ético del desarrollo de la tecnología y los posibles impactos a tener en cuenta como el tratamiento de datos o el e-waste y como hay recursos como expertos en ética para revisar los despliegues.
- **Conclusiones:** En este capítulo se presentan las conclusiones extraídas del trabajo y su realización junto a una reflexión sobre el cumplimiento de objetivos, los retos encontrados y las asignaturas que han contribuido a la elaboración del presente trabajo. Finalmente se plantean las evaluaciones y ajustes pendientes para el futuro del marco.

- Anexo I. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Se muestra cómo y en qué grado se contribuye con este trabajo al los ODS marcados por la Unión Europea.

CAPÍTULO 2

Estado del arte

2.1 Tecnología Operacional (OT)

En el contexto industrial, la tecnología se puede definir como los diferentes procesos de manufactura por los cuales se convierten ciertos materiales en productos [4]. En este contexto, la tecnología se divide en la tecnología operacional, la tecnología de materiales y la tecnología del conocimiento [5]. La tecnología operacional se encarga específicamente en el proceso de transformar o combinar materiales para crear un objeto o material nuevo. Las otras tecnologías se encargan de elementos más concretos como la elección y tratamiento de materiales.

Se pueden diferenciar diversos tipos de tecnología operacional según el tipo de industria en la que se utilizan y según la cantidad de productos creados a la vez por una sola máquina; estos últimos se agrupan en tecnología de producción en masa y tecnología personalizada. Además, la tecnología operacional tiene tres características principales: el nivel de automatización, la secuencia de operaciones y la especificidad de las operaciones. Es importante destacar también que una empresa puede utilizar diferentes tipos de tecnología para diferentes partes del proceso de producción.

La tecnología es importante en este contexto ya que esta está relacionada con la producción, la estructura y interacción y satisfacción de los trabajadores [5]. Además, los diferentes niveles de complejidad de la tecnología están también relacionados con diversas variables organizacionales. Estas relaciones indican que la tecnología empleada por una empresa en un contexto industrial es de gran relevancia ya que afecta a diferentes ámbitos.

En las empresas con procesos industriales, la tecnología operacional convive con las tecnologías de la información (IT) que se encarga del desarrollo, mantenimiento y uso de software y redes para el procesamiento y distribución de los datos [6]. Aún siendo tecnologías con objetivos diferentes dentro de una empresa, existe un gran potencial en utilizar información recogida en la tecnología operacional para influir y completar información de las tecnologías de la información y viceversa. La unión de estas dos tecnologías permite una sola visión de la información y procesos de la compañía, lo que ayuda a que toda persona y dispositivo tenga la información adecuada en el momento adecuado [7]. Es mediante las recientes nuevas tecnologías por las cuales se puede conseguir esto, llegando incluso a cambiar el paradigma de diversas operaciones industriales.

2.2 El Internet de las Cosas

Una de las tecnologías que colabora con la unión de las tecnologías operacionales y de la información es el Internet de las Cosas (IoT). Existe actualmente un creciente interés por esta tecnología ya que puede recoger datos por medio de sensores y enviarlos a otros dispositivos IoT u ordenadores vía Internet [8]. Esto permite a las tecnologías de la información obtener a tiempo real información sobre las tecnologías operacionales y poder actuar sobre estos datos para controlar y optimizar la producción. Otras ventajas de la adopción de esta tecnología incluyen la mejora de la visibilidad de la fábrica, mejor conexiones con la cadena de producción, mantenimiento proactivo, mejora de la calidad, mayor sostenibilidad y la mayor capacidad de planificación [7].

El primer paso para el desarrollo de los dispositivos IoT fue el desarrollo Internet en el final de la década de los 60 ya que es la vía de comunicación entre ellos [8]. Más tarde, en la década de los 90 fue cuando empezó la versión más rudimentaria del IoT con sensores desarrollados para identificar datos de sistemas empotrados y compartirlos. Finalmente, el desarrollo de IPv6 impulsó el desarrollo de IoT; ya que con IPv6 se pueden disponer de muchas más direcciones IP que con su antecesor, IPv4, y por lo tanto más dispositivos pueden conectarse a Internet [9]. Al Internet de las Cosas se le ha dado diversas definiciones según diferentes autores ya que es un término reciente y por lo tanto aún está en evolución:

- Según Internet Architecture Board (IAB) [10] el término IoT define una tendencia en la cual un gran número de dispositivos empotrados se comunican mediante Internet. Estos dispositivos se les suele llamar ‘smart objects’ y usualmente no son utilizados directamente por las personas si no que forman parte del entorno.
- Según Internet Engineering Task Force (IETF) [11] los ‘smart objects’ son diversos pero les unifica su uso limitado de recursos (energía, memoria, etc.), su interacción con el entorno sin que haya usuarios interactuando con ellos y su larga vida útil (de 5 a 40 años).
- Según otros autores [12] IoT está formado por dispositivos, como sensores o actuadores, que son capaces de conectarse y cooperar con los componentes ‘smart’ de otros dispositivos para alcanzar objetivos comunes.

En general, podemos definir los dispositivos IoT como una red de dispositivos que no necesitan la interacción de un usuario para su funcionamiento, que recolectan datos y envía dichos datos a otros dispositivos para cumplir una función o funciones específicas. Estas funciones suelen coincidir con algunos de los objetivos de la cuarta revolución industrial, que busca la automatización y optimización de contextos industriales entre otros objetivos [13]. Algunas de las actuales aplicaciones del Internet de las Cosas en contextos industriales son la mejora de rastreo de paquetes y la optimización de los costes de distribución.

2.3 Conexiones del Internet de las Cosas

Uno de las funciones más importantes del Internet de las Cosas es comunicarse con otros dispositivos. Por lo tanto, una de las decisiones de diseño más importante es determinar el modo de conexión del ecosistema del Internet de las Cosas [9]. Las tecnologías de conexión inalámbrica se dividen en las que proporcionan conexiones a corta distancia y las que proporcionan conexiones en superficies extensas. Las que proporcionan conexión a corta distancia son, entre otras, RFID y WiFi. Estos son de utilidad cuando se hacen despliegues pequeños o para implementar etiquetas inteligentes para localizar paquetes.

Cuando se hace un desligue sobre una superficie amplia como una fábrica se requiere que los dispositivos se puedan comunicar y enviar datos a largas distancias. Además de las distancias, es importante que estos dispositivos tengan una batería de larga duración ya que pueden llegar a ser una gran cantidad de dispositivos o pueden estar situados en lugares de difícil alcance. Esto motivó la creación de la tecnología de Red de Baja Batería y Gran Área (LPWAN) que puede cubrir ambos de estos problemas eficazmente a nivel de red. Las implementaciones que se presentan en este apartado son LoRaWAN, NB-IoT y NR-IIoT.

2.3.1. RFID

La Identificación por Radio Frecuencia (RFID) es una tecnología que usa señales de radio para transmitir datos. Normalmente un sistema RFID consiste de tres partes: una etiqueta RFID, un lector RFID y un ordenador central [14]. Estas etiquetas pueden ser activas, tienen una fuente de alimentación interna, o pasivas, no disponen de dicha fuente de alimentación.

En un ecosistema RFID, las etiquetas tienen la función de captar información del objeto al que están asociadas. Posteriormente, esa información es transmitida al sistema central a través de una red inalámbrica. De esta forma, los objetos pueden ser identificados por su etiqueta, lo que permite la transferencia de datos relacionados con ellos [15]. Actualmente, el estándar Electronic Product Code (EPC) es el dominante que define los datos contenidos en las etiquetas RFID [16].

Una de las grandes ventajas de esta tecnología es que las etiquetas tienen un tamaño muy reducido, así que pueden ser colocadas en casi cualquier objeto físico y que no hace falta línea de visión directa para ser leídas. Sin embargo, una de las mayores desventajas es la facilidad de filtrado de datos ya que la información no está cifrada [9].

2.3.2. WiFi

El término WiFi describe una clase de tecnología inalámbrica que procede del estándar industrial '802.11b' desarrollado por el Instituto de Electrónica e Ingenieros Electrónicos (IEEE). Estas redes inalámbricas de área local permiten a los usuarios conectar dispositivos equipados con tarjetas de red, facilitando así su interconexión continua [17].

La gran ventaja de utilizar la tecnología WiFi para conectar dispositivos IoT es que ya hay una amplia red desplegada. Eso significa que no hay que añadir infraestructura extra para soportar la comunicación de dispositivos, se puede recurrir a las redes WiFi ya existentes y desplegadas. Sin embargo, las principales desventajas de esta tecnología son su limitado rango de conectividad (lo que puede dificultar la conexión entre puntos muy distantes) y los problemas inherentes de esta tecnología, como la seguridad y la interoperabilidad [9].

2.3.3. LoRaWAN

La tecnología LoRaWAN es un *stack* de red construido sobre la capa física de LoRa [18]. La tecnología LoRaWAN es la más adaptada en LPWAN ya que permite la comunicación ad-hoc, un despliegue simple a diferentes escalas de red y la creación de redes privadas además de ser una de las opciones más económicas del mercado [19].

La manera en la que funciona LoRaWAN es definiendo tres modos en los dispositivos: clase A, B y C; cada uno tiene diferentes funciones y capacidades. La Clase A es la más básica y eficiente en términos de energía, permitiendo comunicaciones bidireccionales iniciadas por el dispositivo. La Clase B añade sincronización mediante balizas para permitir ventanas de recepción programadas, mejorando la disponibilidad para recibir mensajes. Finalmente, la Clase

C tiene ventanas de recepción casi continuas, permitiendo una latencia mínima en la recepción de mensajes a costa de un mayor consumo de energía [20]

Otro aspecto importante de esta tecnología es que opera en una banda de frecuencia sin licencia, esto tiene la ventaja de que elimina el requisito de pagar a ninguna compañía y operadora para usar la banda de frecuencia. No obstante, viene con el inconveniente de que como es una banda compartida por varias tecnologías puede haber interferencias si hay otros dispositivos utilizando tecnologías que operan en la misma banda cerca [19]. Otra de las grandes barreras de LoRaWAN es que su tiempo de respuesta no determinista, esto hace que no pueda ser utilizada para contextos en el que la que el tiempo de respuesta sea crítico. Esto quiere decir que esta tecnología es una buena solución para recoger datos en espacios amplios como ciudades pero no para automatización industrial en la cual se requiere un tiempo de respuesta determinista.[18]

2.3.4. NB-IoT

La tecnología de banda estrecha NB-IoT es una tecnología conectada estrechamente con el estándar de transmisión de datos móviles LTE, conocido más ampliamente como 4G LTE, ya que hereda la mayoría de sus atributos [19]. NB-IoT se creó basándose en la tecnología LTE con el fin de cumplir las especificaciones requeridas para funciones de IoT, como la medición inteligente.

La manera en la que NB-IoT ahorra energía es mediante el uso de modos de ahorro de energía como Power Saving Mode (PSM) y eDRX (Extended Discontinuous Reception), que permiten a los dispositivos reducir su actividad y entrar en estados de bajo consumo cuando no están transmitiendo datos. Además, para optimizar la vida de la batería es clave enviar mensajes con la menor frecuencia posible y los mensajes más concisos posibles [21]. Por otro lado, la forma en la que NB-IoT aumenta su rango de conexión es a través de técnicas de cobertura mejorada, como la modulación QPSK y el uso de repetición de señal para mejorar la recepción en áreas con baja señal. Finalmente, la manera de gestionar la seguridad en NB-IoT es mediante el uso de estándares de cifrado y autenticación robustos, tales como 3GPP SA3, que garantizan la confidencialidad y la integridad de los datos transmitidos, así como la autenticación de los dispositivos conectados a la red [19].

Otra de las características de esta tecnología es que opera en banda con licencia, esto quiere decir que hay que pagar una suscripción a una operadora para transmitir datos por esa banda. Sin embargo, esto cuenta con la ventaja de que no se producen interferencias con otras tecnologías ya que estas bandas son de uso exclusivo para NB-IoT [19]. En la visión general, uno de los aspectos más negativos es la variabilidad en el consumo de energía, lo que es una barrera a los dispositivos que disponen de energía limitada. Por otro lado, una de las grandes ventajas es que garantiza el envío de mensajes.

2.3.5. NR-IIoT

La tecnología Nueva Radio NR-IIoT es la evolución natural de la tecnología NB-IoT usando la red 5G y especializándose en contextos industriales [22]. Una de las mejoras incluidas respecto a su predecesor es la mejora del tiempo de respuesta, lo cual es uno de los factores más importantes en los contextos de automatización industrial [23]

Las comunicaciones 5G son gestionadas por un Programador de Enlace Ascendente (US). En el dominio de frecuencia, el US divide el ancho de banda disponible B en Bloques de Recursos. Esto permite que los dispositivos IoT puedan enviar y recibir datos de manera más rápida

y confiable, facilitando aplicaciones en sectores como la salud, la agricultura, el transporte y las ciudades inteligentes [23].

Aún ser prometedora, esta es una tecnología muy reciente así que no hay suficientes despliegues en el entorno industrial para poder evaluar realmente su capacidad. Así que se tiene que proceder con cautela antes de actualizar los dispositivos actuales NB-IoT a esta nueva tecnología ya que aún está desarrollándose [22].

2.4 Modelos de comunicación

En relación a la comunicación entre los dispositivos, se pueden utilizar diferentes patrones según las características de la red y los requerimientos del entorno. Además, se pueden aplicar varios patrones de diseño en un mismo producto según sus diferentes tipos de comunicación con otros dispositivos. A continuación se van a mostrar los principales patrones de comunicación [10]:

- **Patrón de comunicación dispositivo a dispositivo:** Uno de los aspectos más importantes del un ecosistema IoT es que los dispositivos puedan comunicarse entre sí. Compartiendo un mismo protocolo se asegura que los productos de distintos fabricantes puedan integrarse sin problemas y funcionar conjuntamente, garantizando así la interoperatividad.
- **Patrón de comunicación dispositivo a la nube:** Puede variar como se realiza esta comunicación según si la nube a la que se suben los datos son propiedad del fabricante del dispositivo o no. No obstante, los dispositivos y la nube deberían poder comunicarse aunque no sean del mismo fabricante mediante diferentes protocolos existentes como IP, UDP, DTLS, etc.
- **Patrón de comunicación nube a 'gateway':** En el caso que se creen nuevas tecnologías o se use una tecnología poco común se puede usar un 'gateway' para comunicar un dispositivo con la nube. Este 'gateway' actúa como intermediario entre el dispositivo y la nube traduciendo la señal.
- **Patrón de comunicación de datos Back-End:** Por último, para optimizar la transferencia de datos, se puede implementar un servidor donde se almacenen todos los datos, permitiendo que diversas aplicaciones accedan a ellos a través de una API.

En conclusión, toda la infraestructura de IoT tiene que ser diseñada para soportar diferentes protocolos y modos de comunicación para poder hacer mejoras y tener un sistema más flexible ante cambios.

2.5 Arquitectura actual

Una vez se ha observado como se comunican y conectan los dispositivos entre sí, se pasa a mostrar la arquitectura general de un ecosistema de IoT, dando así una vista global de todos los elementos involucrados en el ecosistema. Actualmente, no hay ninguna arquitectura aceptada ampliamente como el estándar, así que en este apartado se van a presentar diferentes arquitecturas según diferentes autores e instituciones.

Algunos autores definen la arquitectura de IoT en 6 capas [14]:

- **Capa de código:** Esta capa es la más básica y es en la que a los objetos se les da un número de identificación para que puedan ser identificados.
- **Capa de adquisición de información:** En esta capa se recogen información de los sensores conectados al dispositivo IoT.
- **Capa de acceso a la información:** Esta capa es la encargada de transmitir la información recogida en la capa anterior a la capa siguiente mediante diversos protocolos como WiFi o WiMAX.
- **Capa de red:** Esta capa corresponde a la plataforma de red, basada en IPv4 o IPv6, que crea una amplia red inteligente capaz de aprovechar los recursos disponibles en la red.
- **Capa de integración de la información:** En esta capa se gestiona y controla la gran cantidad de información recibida en tiempo real. Una vez esta información ha sido organizada, filtrada e integrada se convierte en información con la que se puede trabajar.
- **Capa de aplicación del servicio:** La última capa es la que integra las diferentes aplicaciones en los que se usan o visualizan los datos.

A continuación se van a mostrar las diferentes propuestas de arquitectura creadas por diferentes organizaciones relevantes para el mundo de la informática y la ingeniería.

2.5.1. IEEE

La IEEE está trabajando actualmente en crear un estándar mediante el proyecto IEEE P2413. Actualmente, ese estándar se estructura en 3 capas: aplicaciones, redes y comunicación de datos y percepción. Otro de sus focos en su estudio es identificar todas las posibles partes interesadas relacionadas con la creación de un 'framework' de arquitectura IoT para que se pueda ajustar a las necesidades de todas estas [16].

2.5.2. ETSI

Otra de las organizaciones que está trabajando en crear un estándar es ETSI, aunque esta organización se refiere a IoT como 'Machine to Machine Communication' (M2M). Esta compañía define diversas entidades involucradas en la estructura [16]:

- **Dispositivo M2M:** Dispositivo que ejecuta aplicaciones M2M con capacidades de servicio M2M. Estos dispositivos se pueden conectar a la red de acceso directamente o por medio de un 'gateway' M2M con el que se pueden conectar por medio de una red local M2M. Los dispositivos se pueden conectar directamente a la red de acceso solo si tienen acceso a las aplicaciones y capacidades de servicio M2M.
- **Área de Red M2M:** Actúa como intermediario entre los dispositivos M2M y el 'gateway' que conduce a la red de acceso.
- **Gateway M2M:** Elemento que da acceso a los dispositivos M2M sin acceso a los diferentes servicios M2M a la red de acceso. El 'gateway' mismo es el que contiene acceso a las aplicaciones y capacidades de servicio M2M a los cuales los dispositivos M2M no tienen acceso directo.
- **Red de acceso:** Elemento que permite tanto al 'gateway' como a los otros dispositivos M2M entrar en la 'core network'.

- **Core Network:** Provee de infraestructura para la conexión a internet y otras redes basadas en IP. Esta controla y gestiona los servicios que provee la red e interconecta con otras redes.
- **Capacidades de Servicio M2M:** Aplicaciones que ejecutan la lógica del servicio, las cuales son accesible por una interfaz abierta.
- **Funciones de gestión M2M:** Gestión de todas las funciones ofrecidas por las Capacidades de Servicio.
- **Funciones de gestión de red:** Gestión de las redes core y de acceso.

2.5.3. OneM2M

OneM2M es una asociación global que, con la colaboración de organizaciones de estandarización como IEEE o Cisco, trabajan para crear un estándar de comunicación M2M. OneM2M ofrece un estándar detallado en lo que concierne a arquitectura, interfaces, seguridad y protocolos de comunicación para M2M/IoT.

El modelo de capas de OneM2M consiste en:

- **Capa de aplicación:** Contiene las aplicaciones M2MOne y las lógicas operacionales y de negocio.
- **Capa de servicios comunes:** Contiene las funciones de servicio que habilitan las aplicaciones OneM2M, es decir; gestión, descubrimiento y aplicación de políticas.
- **Capa de servicios de red:** Provee transporte, conectividad y funciones de servicio.

2.5.4. ITU

ITU describe el ecosistema IoT como una red ubicua, esto significa que las redes y conectividad están disponibles en todo momento y en todo lugar. Definen las tecnologías necesarias para conseguir esto como las siguientes:

- **RFID:** Para conseguir una conectividad ubicua es indispensable que los objetos tengan una identificación, una forma de conseguir esto de una manera simple es con las etiquetas RFID. La ventaja que tiene frente a los códigos de barras convencionales es que cada unidad de un producto puede tener diferentes identificadores y en general más información mientras que el código de barras es el mismo para todas las unidades de un producto.
- **Sensores:** La mayor ventaja de la utilización de sensores en entornos IoT es que se pueden anticipar a las necesidades de las personas basándose en la información que recogen. Así que con una red suficientemente grande desplegada se puede tener información de todo el entorno.
- **Tecnologías 'smart':** Otro paso para crear un ecosistema IoT es implementar un sistema que responda ante estímulos y actuadores externos sin intervención externa.
- **Nanotecnología:** Este aspecto se centra en el desarrollo de tecnología para hacer los dispositivos más pequeños y que puedan ser integrados en diversos lugares.

2.6 Propuesta

Aún siendo el Internet de las Cosas una de las tecnologías que más puede ayudar a la optimización de los procesos industriales, la mayoría de las empresas tienen conocimiento limitado sobre la adopción de esta tecnología y como se aplicaría a ella aún sabiendo las ventajas que tiene su aplicación [3]. Por lo tanto, lo que se quiere conseguir con el presente trabajo es desarrollar una hoja de ruta para la aplicación de esta tecnología en los procesos industriales mediante un marco conceptual; considerando aspectos clave como la seguridad, la interoperatividad y la escalabilidad. Asimismo, se utilizará este marco conceptual para crear una aplicación de dicho marco en un contexto específico y se llevará a cabo una simulación y creación de un dispositivo IoT en base a la aplicación de marco conceptual.

CAPÍTULO 3

Marco Conceptual

En este capítulo se presenta el desarrollo del marco conceptual, este pretende reunir diversos conceptos, teorías, supuestos y principios para entender la integración de IoT y OT en entornos industriales. El objetivo es entender cómo estos elementos pueden interactuar y complementarse de manera eficiente, ofreciendo una guía estructurada para la implementación, gestión y evaluación de esta integración de forma efectiva y sostenible. Todo esto se realizará considerando tanto el contexto en el que se desarrolla como los desafíos que dicho entorno presenta.

3.1 Conceptos Fundamentales

En esta sección se van a explicar los conceptos fundamentales en los que se base el marco conceptual teniendo en cuenta la información recogida en el estado del arte del capítulo anterior. Se pretende clarificar los conceptos para poder referirse a ellos a lo largo del marco.

3.1.1. IoT

Como se ha definido previamente en este trabajo, los dispositivos IoT conforman una red de dispositivos que no necesitan la interacción de un usuario para su funcionamiento, que recolectan datos y envía dichos datos a otros dispositivos para cumplir una función o funciones específicas. IoT está comprendido por las siguientes capas [24]:

- **Recolección de Datos:** Esta capa es implementada mediante etiquetas RFID y sensores inteligentes que se encargan de recoger información del entorno para luego compartirla con otros dispositivos.
- **Transmisión:** El papel de esta capa es conectar todos los dispositivos IoT para que puedan compartir la información recogida en la anterior capa. Su implementación puede ser por medio de redes cableadas o redes inalámbricas.
- **Servicio:** Esta capa actúa como un middleware que implementa las funcionalidades necesarias para integrar servicios y aplicaciones IoT. Entre sus principales tareas se incluyen la identificación eficiente de los objetos que pueden proporcionar información, el soporte a la comunicación entre dispositivos, la evaluación de la fiabilidad de los dispositivos y el acceso a los datos a través de APIs.
- **Interfaz:** En esta capa se habilitan las conexiones entre dispositivos y sistemas y se monitorizan y controlan las funciones de los usuarios que definen los servicios dados por el sistema.

Los dispositivos IoT se interconectan a través de un ecosistema IoT, el cual constituye un entorno digital de interacción que abarca herramientas tanto para la integración y conexión como para el análisis y modelado de datos. Este ecosistema incluye diversos agentes, tales como objetos inteligentes (por ejemplo, sensores), módulos inteligentes (como procesadores y memorias), servicios de conectividad (como acceso a Internet o redes privadas), integradores de servicios, y sistemas de recolección y procesamiento de datos [1].

3.1.2. OT

Los sistemas de Tecnología Operacional (OT) son utilizados en diversas industrias como la manufactura y el transporte y son referidos a veces como Sistemas Ciber-Físicos (CPS) [25]. Hay diversos sistemas adaptados comúnmente en la OT [26]:

- **Supervisión de Control y Adquisición de Datos (SCADA):** Este sistema es centralizado y controla toda la infraestructura de producción. Su misión principal es coordinar todas las infraestructuras conectadas, supervisando el estado del sistema para tomar decisiones informadas.
- **Sistema Distribuido de Control (DCSs):** Este sistema es descentralizado y cada controlador es el encargado de uno o dos dispositivos. Considera que el estado actual de un dispositivo y los posibles estados futuros de estos es lo único que afecta las decisiones.
- **Controladores Lógicos Programables (PLCs):** Dispositivos de tiempo real que contienen lógica y están programados para controlar funciones locales. Tradicionalmente no se recogía ninguna información de estos dispositivos pero la tendencia actual es que se recoja información de estos y se comparta tanto a SCADA como a DCS.

En los tres sistemas es importante tanto que la información sea recogida como que sea transmitida. La única diferencia entre los tres es como escala y como se comparte y como se gestiona dicha información.

3.1.3. IIoT

IIoT se puede definir como el uso de tecnologías IoT en un entorno industrial para ayudar a alcanzar los objetivos de las diferentes industrias como optimizar el valor del producto que permite la automatización en tiempo real de procesos industriales [25]. Los sistemas de Industrial IoT (IIoT) comprende en dispositivos IoT interconectados, sistemas de control, módulos de red y otros dispositivos para monitorizar, analizar y controlar dispositivos físicos. La diferencia con IoT es que los ecosistemas IIoT siguen objetivos más específicos que los ecosistemas IoT.

IIoT puede convertirse en una capa crucial para la producción conectándose directamente con el proveedor a tiempo real desde la línea de producción para analizar la cantidad y calidad del producto o compartir información en diferentes puntos dentro de la línea de producción. Dentro del contexto industrial hay tres categorías que se benefician especialmente de la tecnología IIoT [1]:

- **Monitorización remota:** Utilizando diferentes tipos de sensores se puede visualizar toda la información de una cadena de producción en un mismo panel o interfaz. Esto permite a los operadores poder tener un mejor control del estado de la cadena de producción

- **Mantenimiento predictivo:** En la mayoría de organizaciones la maquinaria es uno de los activos más importantes. Así que para evitar interrupciones en la línea de producción es vital poder detectar los fallos en el momento que ocurren y predecir estos en futuras ocasiones. Monitorizando el estado de la maquinaria en sí puede dar información sobre cuándo parte de la maquinaria empieza a fallar o requiere de mantenimiento antes de que provoque un paro de la producción.
- **Automatización:** Uno de los potenciales de esta tecnología es que la maquinaria pueda reaccionar de manera automática a estímulos externos a tiempo real. Si se consigue esto puede mejorar no solo la eficiencia si no también la seguridad de la maquinaria y del personal en la línea de producción.

La diferencia con los actuales sistemas actuales de la OT es que IIoT pretende conectar extensivamente los dispositivos entre sí y con las personas aumentando así la diversidad y escala de los sistemas [27]. El objetivo del IIoT es integrarse en diversos procesos industriales, tanto en la producción como en la logística, para proporcionar información en tiempo real sobre estos procesos.

3.2 Teorías y Modelos

Este apartado se incluyen las teorías y modelos que explican cómo los componentes del marco conceptual interactúan o deberían interactuar. Estos incluyen un modelo de arquitectura empresarial para la manufactura, que permite entender los procesos involucrados, y un marco de clasificación de dispositivos IIoT, que define las características que estos dispositivos deben tener.

3.2.1. Modelo Purdue

El modelo Purdue es una referencia clave para la arquitectura empresarial en la manufactura. Para establecer un marco teórico para IIoT, es esencial situarlo en el contexto empresarial y analizar cómo se integra con los demás elementos de la producción. Los dispositivos adaptan para responder a las distintas capas del modelo para transferir la información que recogen. Este modelo se segmenta en las diferentes capas [28]:

- **Capa de Concepto:** En esta capa se identifican los objetivos, misión y visión de la empresa. Es decir, sobre que pretexto se construye toda la organización para tomar decisiones al respecto. En esta capa también se toman decisiones sobre las políticas que se van a aplicar tanto al personal como a las procesos de producción.
- **Capa de Definición:** Una vez que la empresa ha establecido sus objetivos y dirección, procede a definir los requisitos tanto organizacionales (como la planificación y el control de datos) como de producción. Esto incluye la definición de bloques modulares, abarcando tanto tareas y módulos funcionales como unidades de manufactura, así como la configuración de las redes necesarias para conectar la red de información funcional con la red de manufactura funcional.
- **Capa de Diseño:** Una vez definidos los elementos que componen la empresa, el siguiente paso es modelar la relación entre estos elementos y sus respectivas funciones. Esta capa esta comprendida por dos subcapas:

- **Diseño Funcional:** En esta subcapa se diseña tanto la arquitectura de los sistemas de información como la del equipamiento de manufactura. De manera transversal a estas dos, se incorpora un tercer componente: la arquitectura humana y organizacional, dado que ambas subcapas requieren personal humano que debe ser organizado y distribuido adecuadamente.
- **Diseño Detallado:** En esta subcapa, se enfoca en el diseño detallado de los tres elementos mencionados en la subcapa anterior.
- **Capa de Manifestación:** Una vez diseñado todo el ecosistema de la empresa, se inicia la construcción e implementación del mismo. Para los sistemas de información, se procede con la instalación del equipamiento. En cuanto a la arquitectura del equipamiento de manufactura, se construye la planta y se realizan pruebas. Finalmente, para la arquitectura humana y organizacional, se contrata y capacita al personal.
- **Capa de Operaciones:** Esta última capa se dedica al mantenimiento y continuo desarrollo de las arquitecturas y maquinaria establecidas.

Se puede observar en la Figura 3.1 un esquema del modelo Purdue para visualizarlo claramente. Entre las ventajas de utilizar este modelo se incluyen el suministro de un ciclo de vida a las empresas, lo que facilita la gestión de su crecimiento, y la demostración de cómo se conectan las áreas de IT y OT dentro de la compañía [29].

3.2.2. Framework IIoT

En este apartado se define un framework de IIoT propuesto por el centro de Ciberseguridad de la universidad de Warwick [25] que tiene como fin crear una clasificación de todos los dispositivos de IIoT para que se definan mejor en el ecosistema de una compañía. Las categorías mediante las cuales se realiza la clasificación son las siguientes:

- **Sector industrial:** La primera característica de un dispositivo IIoT es determinar en que sector industrial se encuentra. Ejemplos de sectores industriales puede ser manufactura, electricidad, agua, etc.
- **Localización:** Otro elemento importante es la ubicación geográfica del dispositivo, ya que afecta tanto a su seguridad física como cibernética, además de su posición dentro de la estructura de la empresa. Detalles como si se encuentra en el exterior o el interior son cruciales, ya que la durabilidad del dispositivo puede verse afectada. También es relevante si el dispositivo es fijo o móvil.
- **Conectividad:** Esta característica define como está conectado el dispositivo al resto de elementos o a la red. Datos relevantes sobre la conectividad puede ser si la conexión es cableada o inalámbrica, que protocolos utiliza y sus procedimientos de seguridad entre otros.
- **Características del dispositivo:** Describe su función dentro de la organización, como de crítico es el dispositivo, sus relaciones con otros dispositivos y como se configura o enciende y apaga.
- **Tecnología del dispositivo:** Determina especificaciones técnicas del dispositivo como qué hardware tiene, si el software se puede actualizar, el uso de energía, el sistema operativo y en uso de energía entre otros. Estas características pueden influenciar el diseño del sistema o la habilidad de protegerse frente a vulnerabilidad cuando el sistema está desplegado.

- **Tipo de usuario:** Define quién y cómo se interactúa con el dispositivo. Quién interactúa puede ser otra máquina o un usuario humano con diferentes niveles de conocimiento del sistema. Cómo se interactúa puede ser de forma directa o indirecta si hay comunicación.

Esta clasificación nos puede ayudar a identificar las necesidades y características de dispositivos IIoT que se tienen que crear o adquirir o que ya están presentes en la compañía.

3.3 Principios y metodologías

En este apartado se presentan las directrices para abordar la integración de IIoT. Se incluyen principios de diseño de dispositivos IIoT y metodologías para su implementación.

3.3.1. Principios de diseño

La arquitectura tanto del software como hardware de los dispositivos IIoT tienen que seguir un estilo que se ajuste al contexto, es decir, cumpliendo las características necesarias para el entorno industrial como tener un tiempo de reacción reducido o ser seguro ante potenciales ataques. En el contexto de este trabajo se pueden definir los siguientes principios [30]:

- **Baja dependencia:** Las aplicaciones tienen que tener un nivel reducido de dependencia para que puedan funcionar si dependen de otros dispositivos del ecosistema y que puede ser que se utilicen dispositivos de diferentes manufacturas.
- **Localizable:** Los dispositivos que se tienen que conectar tienen que poder alcanzarse de manera cableada o inalámbrica.
- **Ejecución en tiempo real:** Se tiene que cumplir las restricciones de tiempo haciendo que los dispositivos tengan un tiempo de reacción reducido.
- **Autonomía:** Los dispositivos tienen que tener la mayor autonomía entre sí ya que si uno falla el resto tienen que poder seguir funcionando aunque sea con las funciones limitadas.
- **Especialización:** Las tareas que realiza un dispositivo tienen que ser limitadas pudiendo llegar incluso a un modelo de microservicios.
- **Acceso limitado a la información:** Este principio se centra en hacer la información lo más descentralizada posible y hacer el acceso a esta lo más reducido posible.
- **Perspectiva de primera persona:** En este principio se insta a tomar la perspectiva del dispositivo cuando se diseña o se pone en el ecosistema.

En la Tabla 3.1 se muestra como los diferentes principios responden a los diferentes retos y características que presenta en contexto de IIoT.

3.3.2. Metodologías para la implementación

La metodología descrita en [31] se basa en el desarrollo orientado al modelo, aplicable a diversos niveles de abstracción y granularidad. Cada capa de la metodología tiene sus propias reglas específicas. El resultado final de esta metodología es la generación de código general que controla los diferentes dispositivos dentro del ecosistema IoT. Esta metodología tiene 4 pasos:

Tabla 3.1: Tabla comparativa de retos y principios de diseño

Retos	Principios
Independencia del sistema	Bajo acoplamiento, Autonomía, Especialización
Modelado de datos	Autonomía, Acceso limitado a la información, Perspectiva de primera persona
Cuello de botella	Acceso limitado a la información
Interacción del usuario	Bajo acoplamiento, Acceso limitado a la información
Definición	Bajo acoplamiento, Localizable, Ejecución en tiempo real
Equipamiento de legado	Bajo acoplamiento, Autonomía
Seguridad de los datos	Acceso limitado a la información, Perspectiva de primera persona
Heterogeneidad en los protocolos	Autonomía, Ejecución en tiempo real
Comunicaciones a tiempo real	Autonomía, Especialización
Prácticas de desarrollo	Todos los principios

- **Análisis de los requerimientos de negocio:** En esta fase se analiza el problema de dominio y se analizan los requerimientos funcionales y no funcionales. Este flujo y requerimientos puede ser representado mediante UML.
- **Definición de la lógica de negocio:** En esta fase se diseñan los procesos que respaldan la lógica y los requerimientos del negocio. Se utiliza como base el modelo de requisitos empresariales generado previamente, así como la definición de la lógica de los procesos empresariales a través del Modelo y Notación de Procesos Empresariales (BPMN). Esto permite describir el comportamiento y las interacciones a nivel global dentro de un modelo PIM (Platform-Independent Model).
- **Diseño de la solución integrada de servicios:** En esta fase se crea un modelo independiente de la plataforma para la arquitectura del sistema, con el fin de separar la lógica empresarial de los detalles técnicos de implementación. Este modelo, derivado de la fase anterior, permanece constante a través de diferentes plataformas y sigue un enfoque de Arquitectura Orientada a Servicios (SOA).
- **Generación de la generación tecnológica:** En esta fase, se convierte la solución independiente de la plataforma en código ejecutable adaptado a una plataforma de implementación específica. Esta fase implica:
 - Diseñar la solución específica para la plataforma de Tecnologías de la Información, basándose en el modelo de arquitectura de sistemas.
 - Generar las especificaciones o el código del sistema de software a partir de un Modelo Específico de Plataforma (PSM), que representa el sistema en términos de una plataforma tecnológica específica.
 - Transformar el PSM en código ejecutable o esqueleto de código, generalmente en especificaciones basadas en XML, para llevar a cabo la implementación del software en la plataforma elegida.

Estas fases de desarrollo nos dan una vista general de como se tiene que gestionar el diseño e implementación de esta tecnología.

3.4 Estrategias para manejar los desafíos asociados

El IIoT es uno de los impulsores clave de una nueva revolución industrial debido a su impacto en los procesos de fabricación. A pesar de su gran influencia, su aplicación práctica presenta varios retos. En este apartado se describen algunos de estos desafíos y las estrategias para mitigarlos.

- **Gasto energético:** En los ecosistemas IIoT, el consumo de energía es elevado, no solo por los sensores, sino también por el almacenamiento y procesamiento de datos. Por lo tanto, es fundamental recurrir a fuentes de energía ambiental, como la solar o eólica, para obtener energía de manera renovable y continua, lo que permite reemplazar las baterías de los dispositivos IIoT y reducir la dependencia de fuentes no sostenibles. Además, a continuación se muestran diferentes acciones que pueden contribuir a la reducción energética del ecosistema IIoT:
 - En los protocolos MAC convencionales, uno de los objetivos principales es gestionar la energía de la manera más eficiente posible. Estos protocolos incluyen modos que permiten maximizar la vida útil de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) utilizando técnicas de captación de energía y equilibrando el uso energético en redes EH-WSN (Energy Harvesting Wireless Sensor Networks). Por lo tanto, es necesario un enfoque eficiente para gestionar la energía y mantener el funcionamiento normal de los dispositivos, independientemente de la fuente de energía utilizada y sus patrones de operación. Para lograr una vida útil constante, la energía captada debe ser igual o superior a la energía consumida, lo que se denomina estado de Energía Neutra (ENO).
 - Almacenamiento de energía: Existen dos opciones ampliamente reconocidas para almacenar energía en ecosistemas IIoT: las células recargables y los supercondensadores. Las células recargables presentan limitaciones en cuanto a sus ciclos de carga, ya que solo pueden recargarse un número limitado de veces y el proceso de carga es relativamente lento. En contraste, los supercondensadores permiten un mayor número de ciclos de carga y descarga, lo que los convierte en una opción más adecuada en comparación con las células recargables, especialmente en entornos que requieren una energía más constante y de rápida disponibilidad.
- **Conectividad de objetos:** En un ecosistema IIoT se requiere que una gran cantidad de elementos estén conectados a internet. Esto significa que la red o redes que mantienen este ecosistema tienen que ser considerablemente robustas. No solo esto, si no que también existe un problema al asignar direcciones IP ya que no hay suficientes direcciones IPv4 para crear todo un ecosistema de ordenadores. Por esto otro paso importante en el desarrollo de IIoT es desplegar la red de IPv6 que cuenta con más direcciones además de otras ventajas como mayor seguridad [32].
- **Seguridad:** La preocupación por la ciberseguridad en OT ha aumentado con la creciente conectividad de sistemas y maquinaria a internet, ya que estos dispositivos pueden acceder a información sensible sobre el funcionamiento interno de una empresa o sus empleados. Un desafío importante es que muchos de estos sistemas operan con versiones de software y hardware obsoletos, lo que los hace más susceptibles a ciberataques

debido a la falta de antivirus, comunicaciones inseguras y el uso de protocolos vulnerables [27]. Para abordar los riesgos identificados en el capítulo anterior, se presentan las siguientes contramedidas:

- En cuanto a la conexión Bluetooth, es importante apagarla cuando no se esté utilizando, desactivar la opción de conexión con nuevos dispositivos, y asegurarse de instalar siempre las últimas actualizaciones de seguridad proporcionadas por los fabricantes del dispositivo.
- Para prevenir el espionaje de tráfico de paquetes de datos, se pueden utilizar varias técnicas, como el cambio frecuente de frecuencia en intervalos cortos de tiempo, la implementación de protocolos de encriptación para cifrar la señal, y el uso del estándar de cifrado AES (Advanced Encryption Standard) en los protocolos de comunicación. Estas medidas ayudan a reforzar la seguridad y proteger la información transmitida.
- Para prevenir los ataques DDoS, se pueden implementar medidas de seguridad en diversas capas del sistema. En la capa de red se pueden configurar técnicas de IPv6, como el Authentication Header, para cifrar la comunicación entre dos puntos y garantizar la integridad de los datos. En la capa de middleware se pueden establecer controles de acceso robustos y mecanismos de autenticación para proteger los sistemas intermedios. En la capa de aplicación se pueden utilizar modelos de machine learning que detecten patrones de tráfico inusuales, lo que permite identificar y mitigar potenciales ataques DDoS de manera temprana.
- Para defenderse contra los ataques de canal secundario, se pueden adoptar varias estrategias. La primera es reducir las señales filtradas minimizando la cantidad de información que puede ser filtrada por el sistema. Además se puede segregar la conexión entre información sensible y la información filtrada para mantener separadas las rutas de transmisión de datos sensibles y aquellos que podrían ser susceptibles a filtraciones. También se puede añadir ruido aleatorio en las señales para evitar patrones claros que puedan ser explotados por los atacantes. Finalmente se pueden utilizar sistemas de detección que monitoricen y detecten modificaciones en la señal para identificar posibles intentos de ataque.

3.5 Definición del Marco Conceptual

La definición de este marco conceptual resulta de la integración y fusión de conceptos relacionados con teorías y modelos industriales, así como con principios y metodologías del IIoT.

3.5.1. Fase 1: Creación del Concepto

Esta fase tiene como origen la capa de concepto del modelo Purdue y parte de la fase análisis de requerimientos del negocio de la metodología de implementación. En esta capa se analizan los objetivos de la empresa y los problemas de dominio. La fase toma como datos de entrada la observación y análisis de la empresa y la misión y visión de la misma. El resultado que produce es un listado de objetivos y un listado de problemas del dominio.

Para la creación de objetivos lo primero que se debe hacer es descomponer la misión y visión en metas específicas que puedan ser medibles para poder seguir luego su progreso. Además, esta especificación se puede ayudar de la consulta de stakeholders de la compañía y la utilización de técnicas de análisis como SWOT (Fortalezas, Debilidades; Oportunidades y Amenazas). Para la identificación de los problemas del dominio se tiene que analizar el actual

flujo de trabajo de la compañía y herramientas empleadas y los datos históricos y rendimiento e incidencias y se deben consultar los problemas comunes del sector en el que se encuentra la compañía [28].

3.5.2. Fase 2: Definición de la solución

Esta fase tiene su origen en la capa de definición del modelo de Purdue, así como en las fases de análisis de requerimientos del negocio y definición de la lógica de negocio de la metodología de implementación. En esta etapa se definen los requisitos de la solución. La fase toma como datos de entrada las listas de objetivos y problemas del dominio descritos en el apartado anterior, y da como resultado dos esquemas UML basados en los requisitos definidos: un diagrama de casos de uso y un diagrama de actividades.

La primera parte de este proceso consiste en analizar los objetivos y problemas para derivar los requerimientos del sistema. Estos requerimientos son organizacionales, relacionados con la estructura y funcionamiento de la organización, y de producción, relacionados con una solución como tal. Dentro de los requerimientos de producción se pueden encontrar requerimientos funcionales, especifican lo que el sistema debe hacer, y no funcionales, describen cómo debe ser el sistema.

Una vez definidos los requerimientos, se crean los diagramas de casos de uso y de actividad. Por un lado, el diagrama de casos de uso comienza identificando las funciones o servicios que la solución debe proporcionar para cada requerimiento, así como los actores involucrados en estas funciones. Luego, se dibujan las relaciones entre actores y casos de uso para visualizar todas las funciones que debe ofrecer la solución. Por otro lado, el diagrama de actividades descompone las funciones en las diferentes acciones necesarias y las relaciona de acuerdo con el funcionamiento del despliegue final. Este esquema proporciona un nivel más detallado de las actividades del sistema, lo que ayuda a identificar los dispositivos y flujos necesarios para llevar a cabo el despliegue [33].

3.5.3. Fase 3: Diseño de la solución

Esta fase se basa en la capa de diseño del modelo Purdue y en la capa de diseño de la solución de la metodología de implementación. En esta etapa se elaboran las especificaciones de la solución. Los datos de entrada para esta fase incluyen el UML con los requerimientos de la solución, mientras que los datos de salida consisten en un esquema que muestra la conexión entre todos los elementos y diversas tablas que definen las especificaciones de cada dispositivo a desarrollar. La fase se divide en dos partes: el diseño funcional que se enfoca en listar todos los dispositivos y en definir sus conexiones y relaciones entre sí y el diseño detallado que se centra en los detalles específicos de los dispositivos que conforman el sistema.

El esquema de conexiones está regido por un flujo en el que los dispositivos IIoT se conectan a un router, que a su vez se conecta a la red privada de la compañía. Este esquema debería reflejar la configuración de redes de la empresa, posiblemente dividiendo los dispositivos IIoT y los dispositivos de IT en redes separadas para minimizar el riesgo de ataques que puedan comprometer toda la información de la compañía. Además, para lograr una integración completa del sistema y los dispositivos, se requieren tres niveles de integración: la integración entre tecnologías de diferentes proveedores, que asegura la interoperabilidad entre diversas tecnologías de distintos fabricantes; la integración interorganizativa de información y servicios, que facilita el intercambio de datos y servicios entre diferentes empresas; y la integración entre dominios de ecosistemas empresariales de distintos sectores, que conecta y coordina sistemas y procesos a través de diferentes industrias. Esta integración es uno de los mayores retos del IIoT,

ya que la variedad de tecnologías utilizadas por distintos fabricantes complica la interoperabilidad y la cohesión del sistema. [34].

En el nivel de especificación del diseño detallado se han tomado elementos del framework de IIoT y los principios de diseño ambos presentados anteriormente en este capítulo. Sobre cada dispositivo se eligen diferentes características según los requerimientos del sistema y las características generales de los dispositivos de este tipo, además, puede tener varios valores de una misma característica. Las características que tiene que aparecer sobre cada dispositivos deben ser la siguientes:

- Sector Industrial: Agua (Agua limpia, Agua residual), Transporte (Aire, Raíles, Marítimo, Carretera, Fuera de carretera), Manufactura (Diseño, Planificación, Fuente, Creación, Entrega, Servicio), Minorista (Almacenamiento, Distribución, Punto de venta), Energía (Electricidad, Gas y Petróleo), Telecomunicaciones (Fija, Móvil y Satelital), Minería y Agricultura (Agricultura, Pesca y Acuicultura, Silvicultura y Ganadería).
- Localización: Ecosistema (Cosa, Concentrador, IT de Borde, IT Remoto, Compañía y Límites físicos del ecosistema), Modelo Purdue (Zona Segura, Zona Desmilitarizada, Zona del Área, Zona de Manufactura, Zona de Compañía), Movilidad (Fijo, Móvil), Físico (Interno, Externo, Planta/Maquinaria, Wearable, Entorno Peligroso, Adyacencias).
- Conectividad: Mecanismo (Sin Conectividad, Cableado, Inalámbrico, Físico), Naturaleza (De Tiempo Real, Casi Tiempo Real, Asíncrono), Iniciación (Por el Dispositivo, Por el Dispositivo que Recibe, Cualquiera de los dos lados), Tipo de Seguridad (Autenticación, Identificación, Autorización, Encriptación), Protocolos (Infraestructura, Descubrimiento, Protocolo de Datos, Protocolos de Seguridad).
- Características del dispositivo: Función (Sensor, Actuador, Control, Logging o guardado, Sensor y Actuador, Procesamiento y Analíticas), Criticalidad (Impacto, Facilidad de reemplazo), Interfaz (Ninguna, Directa, Remota), Relaciones (Con otros dispositivos, Con procesos, Con sistemas industriales, Con el entorno).
- Tecnología del dispositivo: Fuente de Energía (Batería, Cableado, Fuentes Ambientales), Uso de Energía (Usualmente apagado, Bajo consumo, Siempre encendido), Sistema Operativo (Software y hardware, Kernel y solo hardware, Puro hardware), Tipo de software (Propietario, Código abierto, Híbrido), Actualizaciones de Software (No actualizable, Métodos de Actualización), Confianza de Software (No aplicable, Nivel BSI PAS 754), Hardware (No CPU, Tipo de CPU, Velocidad CPU, Tamaño de memoria, Capacidad de almacenamiento), Fabricante, Identificador (Dirección MAC, Número de serie, IMEI).
- Tipo de usuario: Tipo de Usuario (Máquina, Humano), Interfaz de Usuario (Ninguna, Directa, Indirecta).
- Tiempo de respuesta: Numéricamente el tiempo medio de respuesta del dispositivo, varía si tiene que ser de tiempo real o no.
- Acceso a información: Se delimita que información envía y/o recibe y como es su acceso a la información si accede.

3.5.4. Fase 4: Implementación

Esta fase tiene como origen la capa de manifestación del modelo Purdue y la fase de generación tecnológica de la metodología de implementación. En esta fase se programan e instalan todos los dispositivos de la solución. Los datos de entrada de esta fase son los esquemas de

conexiones y relaciones de dispositivos y las fichas de las especificaciones de cada dispositivo y da como resultado el código e instalación de la solución que puede incluir la impresión 3D de algunas de las piezas para adaptarse al entorno de la empresa.

Este proceso es crítico, ya que implica la configuración precisa de cada dispositivo para asegurar que funcionen armónica y eficientemente dentro del sistema global. El código producido puede incluir desde simples configuraciones hasta complejos algoritmos de control y monitoreo según las diferentes características y funciones de este.

Para llevar a cabo esta fase es esencial una gestión y administración eficiente de los recursos de la empresa. Esto incluye tanto los recursos materiales, como los dispositivos y componentes necesarios para la instalación, como los recursos humanos, es decir, el equipo de profesionales encargados de la programación e instalación, por lo tanto se tiene que hacer una revisión de los conocimientos y funciones de cada empleado para poder coordinar este proceso con fluidez.

3.5.5. Fase 5: Mantenimiento

Esta fase tiene como origen la fase de capa de operaciones del modelo Purdue y la fase de generación tecnológica de la metodología de implementación. Esta fase se encarga de definir un plan del mantenimiento y monitorización del sistema. Esta fase toma como datos de entrada la lista de objetivos y problemas del dominio y da como resultado un plan de control y mantenimiento de los dispositivos.

Una de las corrientes recientes de mantenimiento es usar los datos recogidos para recoger anomalías en los procesos de producción, diagnosticarlas y predecir los siguientes fallos. Esto se denomina mantenimiento de pronósticos y salud (PHM). Esta monitorización hace que los recursos de mantenimiento se destinen en el momento adecuado [35].

Actualmente, hay dos paradigmas de mantenimiento predominantes:

- **Mantenimiento correctivo (CM).** No se realiza ninguna acción sobre la maquinaria hasta que esta se avería y entonces se procede a su reparación.
- **Mantenimiento predictivo.** Se realiza un seguimiento de la maquinaria para implementar acciones preventivas y evitar fallos y paros totales en la producción. Dentro de este enfoque, existen tres maneras diferentes de recoger y tratar los datos:
 - **Mantenimiento planeado.** Se comprueba en el estado y parámetros de la maquinaria con una periodicidad fija para comprobar cada cierto tiempo que la maquinaria no se ha averiado.
 - **Mantenimiento basado en condiciones.** Se monitoriza la maquinaria y se realizan acciones de mantenimiento si alguno de los parámetros está por debajo de los rangos previamente establecidos.
 - **PdM.** Se predice mediante diferentes algoritmos cuando será la próxima vez que se averíe la maquinaria en base a la información recogida de esta.

El paradigma de la Industria 4.0 promueve que cada pieza de maquinaria se asocie con el enfoque de mantenimiento más adecuado según su uso y características, con el objetivo de optimizar la estrategia de mantenimiento en términos de coste y efectividad. En relación con el coste y la efectividad, es importante destacar que enfoques como el Mantenimiento Predictivo (PdM) no siempre garantizan mejores resultados simplemente por contar con más datos, ya que almacenar y procesar datos implica un coste significativo. Por lo tanto, es crucial seleccionar cuidadosamente qué parámetros medir para realizar el mantenimiento de la manera más eficiente posible.

En base a diversos estudios, se ha concluido que los parámetros de aceleración y vibración son los parámetros que han demostrado ser más efectivos en la identificación de fallos abruptos, no obstante, la desventaja es que estos valores no pueden ser usados para la predicción. Por lo tanto, la manera más efectiva de realizar el mantenimiento es combinar diversas formas de mantenimiento. Por lo tanto, la estrategia sugerida a seguir es la siguiente:

1. Recolectar información sobre la aceleración de la maquinaria y la vibración pico a pico, y verificar con cierta frecuencia que los datos se mantienen dentro de los rangos establecidos de normalidad.
2. Almacenar esta información durante como máximo un mes, ya que no es útil para hacer predicciones a largo plazo.
3. Complementar esta información con datos útiles para la predicción, recogidos cada dos semanas. Estos datos serán analizados con diversos algoritmos para ayudar a predecir la próxima vez que la maquinaria podría sufrir una avería. Los parámetros seleccionados para este análisis dependerán de las características específicas de la maquinaria.

3.6 Supuestos

En estos supuestos se muestran despliegues ya existentes de IIoT donde se describe el razonamiento y la descripción de estos. También se razona como el seguimiento de un marco teórico podría haber ayudado a estos despliegues a desarrollarse de una forma distinta.

3.6.1. Agricultura Smart

Se presentó en un artículo para la Conferencia de Tendencias de Tecnología de la Información [36] el despliegue de un sistema de IIoT para optimizar la productividad en los campos de la India. El ecosistema de IIoT busca aumentar la productividad reduciendo el daño a los cultivos causado por ataques de animales, tanto insectos como pequeños herbívoros, y regulando el estado del suelo. Estos dos factores son los más determinantes en los cultivos de la región.

El sistema está compuesto por un dispositivo Raspberry Pi, un sensor PIR, una cámara web, un sensor ultrasónico, un sensor LDR, un sensor de temperatura, un sensor de humedad, un *buzzer* (elemento que produce sonido) y un monitor. La manera en que estos elementos interactúan es:

- El sensor PIR detecta movimiento en un rango de 10 metros. Cuando se detecta movimiento, la cámara web se activa para procesar la imagen y se recogen datos de temperatura y humedad.
- Si la imagen no corresponde a la de una persona, el buzzer emite una alarma para alertar sobre la intrusión.
- Si se identifica que el intruso es un animal pequeño, se activa un pulverizador que dispersa un olor a huevo podrido para disuadirlo.
- El sistema notifica al agricultor a su teléfono sobre la intrusión y también avisa si los valores del estado del suelo están fuera del rango adecuado.

Este es una solución IIoT para la agricultura a pequeña escala, pero con el uso de un marco conceptual esta solución puede escalar de una manera organizada a extensiones más grandes de terreno y cubriendo más necesidades de los agricultores.

Este sistema refleja varios principios de diseño mencionados en la sección anterior. Por ejemplo, la baja dependencia se evidencia en la capacidad del sistema para operar de manera autónoma sin necesidad de interacción constante con otros dispositivos. La autonomía del sistema se muestra en la capacidad de cada dispositivo para continuar funcionando incluso si otro falla. Además, la especialización se refleja en cómo cada dispositivo tiene una tarea específica, como detectar movimiento o medir la humedad.

La implementación de este sistema podría haberse beneficiado de seguir la metodología de desarrollo orientado al modelo mencionada en el apartado anterior. Al analizar los requerimientos de negocio y definir la lógica de negocio (fase 1 y 2), se podría haber creado un modelo más robusto y escalable para la solución, facilitando la integración de nuevos sensores o la adaptación a diferentes contextos agrícolas. El diseño de una solución integrada de servicios (fase 3) y la generación tecnológica (fase 4) hubieran permitido una implementación más eficiente y adaptable a las necesidades específicas del entorno.

3.6.2. Smart Retailing

En un artículo desarrollado por la Universidad de Hong Kong [37] se describe la implementación de un sistema IIoT en un almacén parcialmente automatizado. Este despliegue está motivado por el creciente incremento de la demanda de las ventas online en China y, por lo tanto, el incremento de la demanda de logística. Así que los objetivos de este sistema son: aumentar la productividad de la logística, aliviar las acciones repetitivas para los trabajadores y aumentar la seguridad de los trabajadores.

Este sistema tiene tres elementos, un grupo de vehículos autónomos, una zona de recogida y reposición donde trabajan las personas y un sistema de control de los robots basado en la nube. Los robots se encargan de transportar las cajas necesarias a la zona de recogida y reposición, donde los humanos gestionan manualmente las cajas. El sistema de control asigna tareas a los robots y define rutas para evitar colisiones entre ellos. Al igual que el supuesto anterior, este se podría beneficiar de contar con un marco conceptual ya que podría tener en cuenta más elementos y cubrir más necesidades de la empresa.

Este despliegue también evidencia varios principios de diseño. La autonomía de los robots permite que el sistema siga funcionando aunque uno de ellos falle. La ejecución en tiempo real es crucial para evitar retrasos en la logística y asegurar la eficiencia del almacén. La especialización se observa en cómo cada robot tiene una tarea específica, como transportar cajas o evitar colisiones. La baja dependencia se manifiesta en la capacidad de cada elemento de operar de manera independiente dentro del sistema.

Siguiendo las metodologías para la implementación mencionadas en la sección anterior, se podría haber llevado a cabo un análisis más detallado de los requerimientos de negocio y definido una lógica de negocio más precisa (fase 1 y 2). El diseño de una solución integrada de servicios (fase 3) y la generación de la generación tecnológica (fase 4) habrían permitido una implementación más robusta y escalable, adaptable a las necesidades cambiantes del entorno logístico.

3.7 Objetivos y Resultado Esperados

Con la integración del Internet de las Cosas y las Tecnología Operacional mediante el marco conceptual creado se pretende conseguir:

- Una manera clara y objetiva de definir el ecosistema del Internet de las Cosas en un proceso industrial.
- Estandarizar el mantenimiento predictivo de la maquinaria utilizada en los procesos industriales. Remarcar la importancia de saber el estado de la maquinaria para repararla antes de que produzca un fallo y parada en la línea de producción.
- Crear un ‘pipeline’ de monitorización remota por los cuales se obtengan datos a tiempo real sobre la producción. Aún estar fuera del rango de este trabajo, para proyectos futuros esta monitorización puede servir para el análisis de datos de Big Data y Inteligencia Artificial para optimizar la línea de producción.
- Automatizar las respuestas de la maquina ante estímulos externos a tiempo real para aumentar la eficiencia del proceso industrial y seguridad de trabajadores y maquinaria.

3.8 Consideraciones de Contexto

Las tendencias recientes en el IoT incluyen la combinación de esta tecnología con la Inteligencia Artificial y el Big Data. Según un informe de Statista [38], se estima que para 2025 habrá más de 75 mil millones de dispositivos IoT conectados en todo el mundo, lo que generará una cantidad masiva de datos que podrán ser aprovechados mediante IA y Big Data para realizar análisis en tiempo real sobre la línea de producción.

Es crucial que, a medida que se desarrollen estas tecnologías integradas, los datos sean tratados de manera adecuada. La gestión correcta de los datos es esencial para asegurar la privacidad, la seguridad y la integridad de la información. Según la Comisión Europea, el manejo ético de los datos es fundamental para mantener la confianza pública y maximizar los beneficios de la IA y el IoT. Esto incluye la implementación de políticas robustas de protección de datos y el cumplimiento de regulaciones como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) [39].

Además, es importante que los datos recogidos sean de alta calidad. La precisión de los datos afecta directamente la efectividad de los algoritmos utilizados en IA y Big Data. Por lo tanto, es crucial trabajar tanto en la limpieza de los datos una vez recogidos como en la mejora de la precisión de los datos mediante el desarrollo de sensores más avanzados.

Finalmente, es crucial tener en cuenta que cada tipo de industria y tamaño de compañía tiene necesidades distintas. Por lo tanto, en futuras iteraciones de este marco conceptual, se espera abordar estas singularidades. Para lograrlo, es importante aplicar el marco en diversos contextos y, a través de la experimentación, realizar los ajustes necesarios para adaptarlo a las diferentes circunstancias.

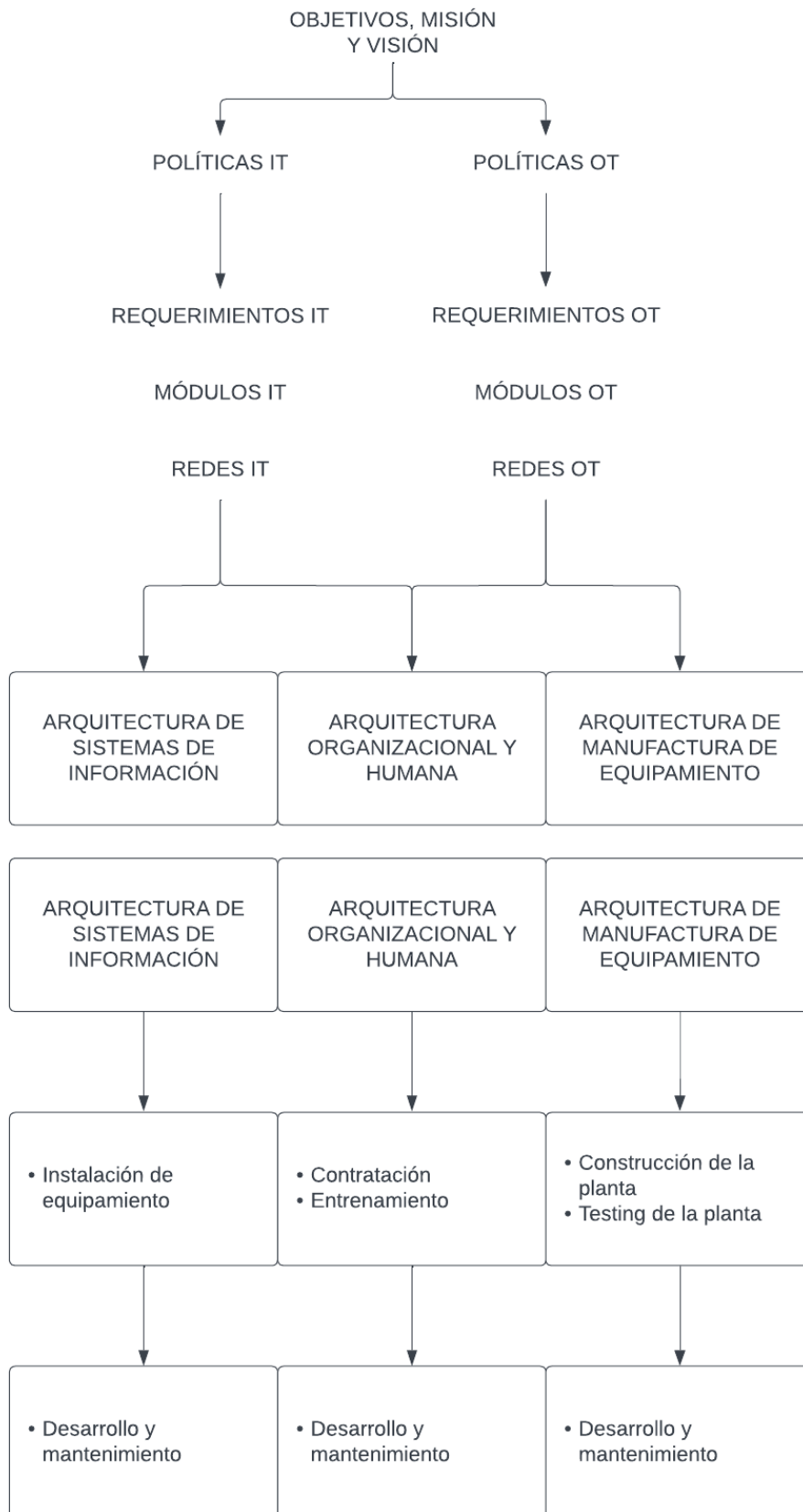


Figura 3.1: Diagrama del modelo de Purdue

Aplicación del marco conceptual

En este capítulo se presentará la aplicación del marco conceptual elaborado en el capítulo anterior a una empresa para ilustrar cómo se implementaría el marco. La empresa utilizada en el ejemplo es ficticia, basada en empresas reales, debido a la imposibilidad de contactar con empresas reales por motivos de disponibilidad.

4.1 Descripción de la compañía

La empresa creada como ejemplo para el marco conceptual es una empresa dedicada a la producción y recolección de naranjas. La elección de este tipo de empresa se debe a la importancia de la naranja no solo para la región Mediterránea de España, sino también para el resto del mundo, ya que casi la mitad de la producción de esta zona está destinada a la exportación [40]. Además, el cultivo de naranjas en esta región forma parte de una larga tradición, siendo un elemento significativo de la herencia del territorio, que pone un fuerte énfasis en la sostenibilidad [41]. Estos aspectos son fundamentales en la misión y visión de la compañía:

- **Misión:** Proveer naranjas de alta calidad tanto para el mercado local como para la exportación, manteniendo prácticas agrícolas sostenibles y eficientes, contribuyendo así a la herencia valenciana.
- **Visión:** Convertirse en un referente global en la producción y recolección sostenible de naranjas asegurándose de la máxima calidad del producto, utilizando tecnología de punta para optimizar tiempo y recursos en la producción.

La empresa tiene dos procesos principales: la producción y la recolección. En el proceso de producción, el objetivo es automatizar y monitorizar el mantenimiento de los árboles. Por otro lado, en el proceso de recolección, se busca automatizar la recogida en función de la demanda y el estado de las naranjas. Dado que el coste de este proceso suele representar aproximadamente la mitad del dinero total invertido en la explotación, es de gran interés reducir estos costos mediante los métodos que se detallarán a lo largo del capítulo [40].

4.2 Aplicación del marco teórico

Es este apartado se explicará con detalle la aplicación del marco conceptual utilizando la compañía descrita en el apartado anterior, describiendo minuciosamente cada fase del proceso.

4.2.1. Fase 1: Creación del concepto

En esta capa se analizan los objetivos de la empresa y los problemas de dominio. La fase toma como datos de entrada la observación y análisis de la empresa y la misión y visión de la misma. El resultado que produce es un listado de objetivos con metas específicas y medibles y un listado de problemas del dominio. Como no disponemos de una empresa física a la que observar nos basaremos en el la misión y visión definidas en el apartado anterior y en análisis SWOT que se la elaborado en la Tabla 4.1 basándonos en el análisis desarrollado en [42].

Tabla 4.1: Análisis SWOT para Naranjas SL

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apoyo legislativo con la ley de la huerta que frena el desarrollo urbano a favor de la tierra de cultivo [43]. ▪ Un interés creciente por los productos orgánicos. ▪ Las oportunidades de nuevos modelos de negocio. ▪ Un compromiso con la sostenibilidad dado el sistema de agricultura e irrigación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de iniciativas públicas para promover la agricultura. ▪ Uso de químicos que contaminan el suelo y el agua. ▪ La baja calidad del agua de irrigación. ▪ Falta de conocimiento del mercado y de la agricultura eficiente. ▪ Aumento de coste de las tierras de cultivo que afecta principalmente a pequeños agricultores.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementación de tecnología avanzada en producción y recolección. ▪ El plan de recuperación de la UE que promocioa la agricultura. ▪ Aumento de la demanda de productos locales y orgánicos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de una estrategia clara sobre como apoyar las actividades agrícolas. ▪ Condiciones Climáticas: Dependencia del clima favorable. ▪ Competencia desleal de países con menos regulaciones. ▪ El control de los precios de grandes vendedores.

Basándonos en la información del cuadro de análisis y en la misión y visión, se han establecido los siguientes objetivos para un plan a 3 años:

- **Automatizar el 80 % del mantenimiento de los árboles en los próximos dos años.** Se alinea con la fortaleza del apoyo legislativo que favorece el uso de la tierra agrícola para impulsar la automatización. Además, se apoya en la oportunidad de implementar tecnología avanzada, mejorando la eficiencia y sostenibilidad en las prácticas agrícolas. Este objetivo también responde a la amenaza del aumento de los costes de la tierra y la competencia desleal, al optimizar el uso de los recursos.
- **Implementar un sistema de recolección automatizada basado en demanda y estado de las naranjas en tres años.** Este objetivo sigue siendo clave para asegurar la calidad del producto y mejorar la eficiencia en la recolección, apoyándose en la fortaleza de un creciente interés por los productos orgánicos y en la oportunidad del aumento de

la demanda de productos locales y orgánicos. También aborda la debilidad de la falta de conocimiento sobre agricultura eficiente, implementando tecnologías innovadoras para optimizar el proceso de recolección.

- **Reducir el uso de agua y pesticidas en un 30 % mediante técnicas de monitorización avanzada.** Se enfoca en la fortaleza del compromiso con la sostenibilidad y el sistema de irrigación tradicional. Además, responde a la debilidad del uso de productos químicos que contaminan el suelo y el agua, y a la baja calidad del agua de irrigación. También se apoya en las oportunidades del Plan de Recuperación de la UE, que promueve prácticas agrícolas sostenibles, y en la amenaza del cambio climático.
- **Mejorar la eficiencia operativa en un 25 % a través de la tecnología.** Este objetivo sigue siendo fundamental para aumentar la eficiencia y reducir los costes operativos, algo esencial frente a la amenaza del control de precios por parte de grandes vendedores y la debilidad del aumento del coste de las tierras de cultivo. También se relaciona con la oportunidad de la tecnología avanzada, que permite optimizar cada etapa del proceso agrícola.

Por otro lado, se ha elaborado una lista de problemas del dominio basándose en la bibliografía consultada. Dado que la empresa es ficticia y no se puede analizar el flujo de trabajo actual, las herramientas empleadas, los datos históricos, el rendimiento o las incidencias, se han investigado los problemas comunes en el sector agrícola, específicamente en la producción y recolección de naranjas. A partir de esta investigación, se han identificado los siguientes problemas de dominio [44]:

- La falta de agua durante el verano.
- La falta de dinero para invertir.
- Los altos costos de micronutrientes y salarios.
- La incidencia creciente de plagas y el alto coste de los pesticidas.
- La falta de conocimiento de la aplicación de pesticidas, de prácticas recomendadas y de identificación de enfermedades de las plantas junto a una mano de obra poco cualificada.

Esta fase nos ha permitido obtener los objetivos y problemas del dominio de Naranjas SL descomponiendo la misión, visión y análisis SWOT en metas específicas y medibles y se ha identificado los principales problemas del dominio que pueden afectar a la operación consultado bibliografía ya existente. Este análisis proporciona una base sólida para la siguiente etapa de la definición de la solución, orientada a convertir los objetivos y problemas en requisitos y esquemas detallados de los procesos de la empresa.

4.2.2. Fase 2: Definición de la solución

En esta capa se definen los requisitos de la solución. La fase toma como datos de entrada las listas de objetivos y problemas del dominio del apartado anterior y da como resultado dos esquemas UML en base a los requisitos definidos en esta misma fase: un diagrama de casos de uso y un diagrama de actividades.

La primera parte de este proceso es analizar los objetivos y problemas y desprender de estos los requerimientos del sistema. Se han relacionado, como se ve en la Tabla 4.2, las conexiones entre objetivos y problemas para generar tanto requerimientos organizacionales como de producción. Se explican con más detalle a continuación los requerimientos definidos:

■ Requisitos organizacionales

- Establecer un equipo dedicado a la gestión y mantenimiento de sistemas automatizados.
- Proveer formación continua al personal sobre el uso de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles.
- Desarrollar políticas para la gestión eficiente de recursos como agua y pesticidas.

■ Requisitos de producción

• Requerimientos Funcionales:

○ Automatización del Mantenimiento de Árboles:

- ◇ Desarrollar un sistema de monitoreo para reducir el uso de agua y pesticidas en un 30 %
- ◇ Integrar sensores que monitoreen la salud y crecimiento de los árboles, proporcionando datos en tiempo real.

○ Sistema de Recolección Automatizada:

- ◇ Implementar un sistema que recolecte naranjas basado en la demanda y el estado de madurez de la fruta.
- ◇ Utilizar robots para la recolección precisa y eficiente.

• Requerimientos No Funcionales:

○ Rendimiento:

- ◇ El sistema debe procesar y analizar datos de manera eficiente para permitir decisiones rápidas.
- ◇ La recolección automatizada debe ser capaz de operar continuamente durante las temporadas pico sin interrupciones.

○ Seguridad:

- ◇ Asegurar la protección de datos recolectados por los sensores y dispositivos IoT.
- ◇ Implementar protocolos de seguridad cibernética para proteger contra accesos no autorizados y ciberataques.

○ Escalabilidad:

- ◇ El sistema debe ser escalable para manejar el aumento en la producción y la expansión de las áreas de cultivo.
- ◇ Permitir la integración de nuevas tecnologías y módulos adicionales sin afectar la operatividad actual.

○ Usabilidad:

- ◇ Diseñar interfaces de usuario intuitivas para facilitar el manejo de los sistemas por parte del personal.
- ◇ Proveer manuales y soporte técnico para resolver dudas y problemas operativos.

Tabla 4.2: Comparativa de objetivos, problemas del dominio y requerimientos creados

Objetivo	Problemas del Dominio	Requerimientos
Automatizar el 80% del mantenimiento de los árboles en los próximos dos años.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Altos costos de micro-nutrientes y salarios. ■ Incidencia creciente de plagas y alto coste de los pesticidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Automatización del mantenimiento de árboles. ■ Establecer un equipo dedicado a la gestión y mantenimiento de sistemas automatizados.
Implementar un sistema de recolección automatizada basado en demanda y estado de las naranjas en tres años.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mano de obra poco cualificada. ■ Altos costos de micro-nutrientes y salarios. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sistema de recolección automatizada. ■ Establecer un equipo dedicado a la gestión y mantenimiento de sistemas automatizados.
Reducir el uso de agua y pesticidas en un 30% mediante técnicas de monitorización avanzada.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Falta de agua durante el verano. ■ Altos costos de micro-nutrientes y salarios. ■ Incidencia creciente de plagas y alto coste de los pesticidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Monitorización de recursos. ■ Desarrollar políticas para la gestión eficiente de recursos como agua y pesticidas. ■ Proveer formación continua al personal sobre el uso de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles.

Objetivo	Problemas del Dominio	Requerimientos
Mejorar la eficiencia operativa en un 25% a través de la tecnología.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Falta de dinero para invertir. ■ Mano de obra poco cualificada. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gestión de la calidad y exportación. ■ Rendimiento: procesamiento y análisis de datos eficiente. ■ Seguridad: protección de datos y ciberseguridad. ■ Escalabilidad: sistema escalable para expansión. ■ Usabilidad: interfaces intuitivas y soporte técnico. ■ Estructura organizacional: equipo dedicado a la gestión y mantenimiento de sistemas automatizados. ■ Proveer formación continua al personal sobre el uso de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles.

En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de casos de uso en relación con el sistema. Debido a la gran cantidad de requerimientos y al alcance del proyecto, se ha creado una versión reducida del diagrama. Este tipo de diagrama relaciona los actores y casos para identificar todas las funciones que debe presentar la solución. En este caso, el sistema está compuesto por tres funciones principales: la monitorización del estado de los árboles, la recolección automática de las naranjas y el almacenamiento de datos sobre el estado de los árboles.

En la monitorización del estado de los árboles, participan tanto el operador del sistema como los sensores de IoT. Los sensores recogen la información de los árboles y la envían al sistema, mientras que el operador revisa estos datos para asegurarse de que el sistema funcione correctamente.

En cuanto a la recolección automática, intervienen los sensores de IoT de los árboles, el sacudidor automático y los robots recolectores. El proceso comienza cuando el sensor detecta que es momento de recoger las naranjas y envía una señal a los robots recolectores para que se dirijan al árbol correspondiente. Una vez que los robots llegan al árbol, el sacudidor automático proporciona una vibración al tronco para que las naranjas caigan. Finalmente, el sistema recopila y almacena los datos de la recolección para su posterior consulta y para realizar predicciones.

Para finalizar este apartado, se puede observar en las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 los diagramas de actividades para las funcionalidades planteadas anteriormente en la que vamos a descomponer las funciones en tareas más específicas. La Figura 4.2 muestra el diagrama de actividades de Recolección automática. El sistema envía una señal a los robots recolectores para que se dirijan a un árbol específico cuando los dispositivos IoT detectan que las naranjas están listas para la recolección, o bien, cuando se decide manualmente debido a la demanda, aunque no sea el momento óptimo. Una vez que los robots llegan al árbol, el sacudidor utiliza un sensor de dis-

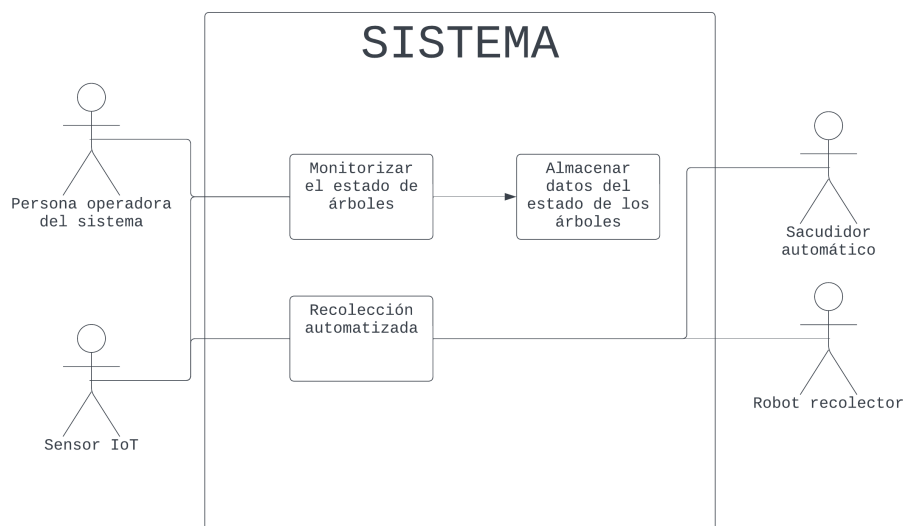


Figura 4.1: Diagrama de casos de uso

tancia para verificar que los robots están correctamente posicionados. Cuando se confirma que la ubicación es adecuada, el sacudidor produce una vibración en el árbol para hacer caer las naranjas. Después de unos segundos, para evitar dañar el árbol con una vibración prolongada, se envía una señal a los robots recolectores para que regresen a la base.

La siguiente Figura 4.3 describe el Almacenamiento de datos de los árboles. Cada 5 minutos, los dispositivos recogen datos del estado de los árboles y envían esta información al sistema central. Estos datos se almacenan en una base de datos que, aunque actualmente sirve como un almacén para futuras consultas, puede ser utilizada para predecir el estado de los árboles.

Finalmente, la última Figura 4.4 describe la Monitorización del estado de los árboles. El proceso comienza de manera similar al diagrama anterior, con la recolección y el envío de datos al sistema central. Luego, los datos del estado de los árboles se muestran en una pantalla. Si se detectan lecturas irregulares, se activa una alarma o alerta. La persona operaria debe decidir si se encarga manualmente de la incidencia o si permite que los dispositivos IoT gestionen la situación. Independientemente de la decisión tomada, el proceso regresa al inicio con la recolección continua de datos.

4.2.3. Fase 3: Diseño de la solución

En esta capa se crean las especificaciones de la solución dada. La fase toma como datos de entrada los diagramas elaborados en el apartado anterior y tiene como datos de salida un esquema con la conexión de todos los elementos y las tablas que corresponden con cada dispositivo a desarrollar en el que se definen las especificaciones de este.

El diseño funcional se centra en listar todos los dispositivos y relacionarlos entre ellos para establecer sus conexiones como se puede observar en la Figura 4.5. Se puede ver en la parte superior de la figura que esta red está habilitada para un acceso remoto mediante una VPN para acceder a la red. La red de la compañía cuenta con un router que tiene conexión a Internet y divide la red en dos subredes primeramente: una dedicada a las operaciones de IT y otra dedicada a las operaciones de OT en la que están los dispositivos de IoT. Esta división hace que un atacante tenga más dificultades para acceder a todos los dispositivos de la red. Por otro lado, hay una barrera de firewall para incrementar la seguridad entre la conexión al exterior

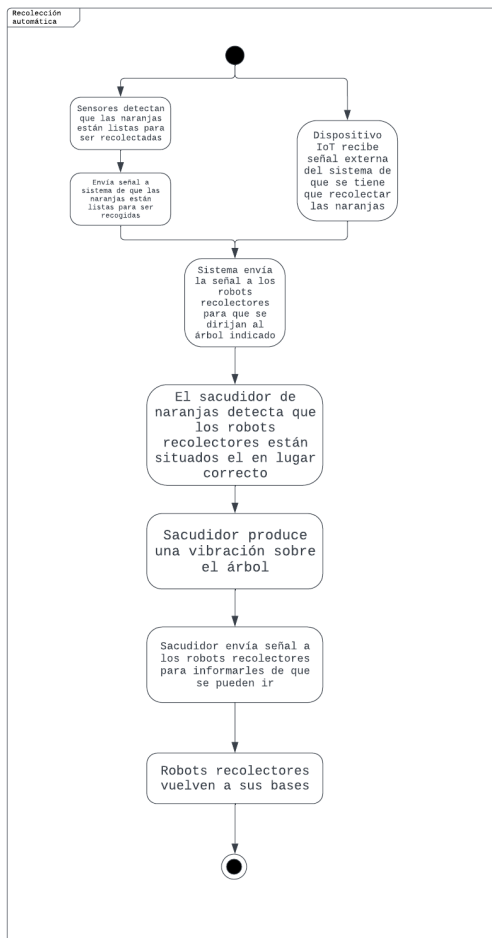


Figura 4.2: Diagramas de actividades de Recolección automática

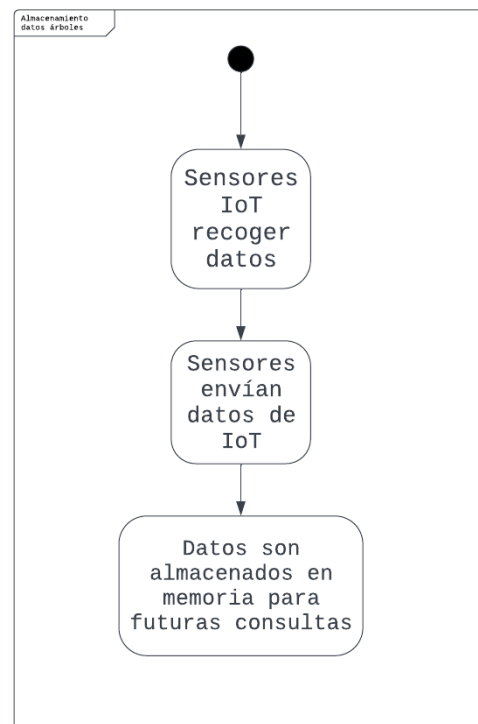


Figura 4.3: Diagramas de actividades de Almacenamiento de datos de los árboles

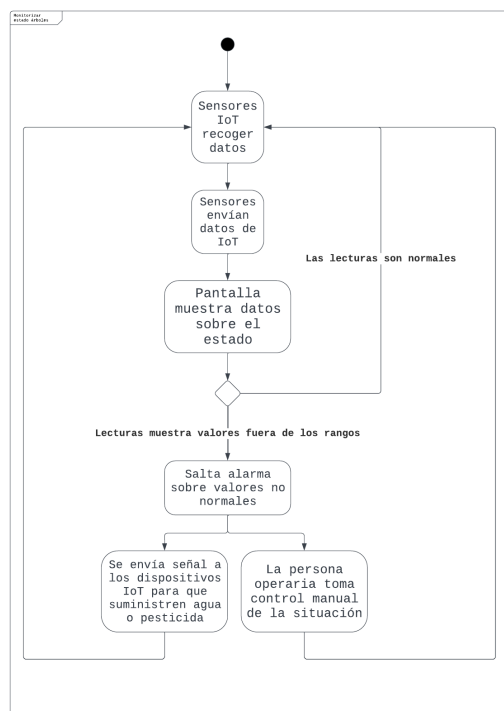


Figura 4.4: Diagramas de actividades de Monitorización del estado de los árboles

y las dos subredes. Dentro de la red de OT se vuelve a dividir en subredes por el motivo anteriormente comentado. Las subredes corresponden a los dispositivos de IoT de la empresa: los dispositivos de mantenimiento, los robots recolectores y los sacudidores de árboles.

A continuación, se describen las características de los dispositivos IoT que forman parte del sistema. Basándonos en el esquema de conexiones y los diagramas de actividad elaborados en el capítulo anterior, se detallan las acciones que cada dispositivo debe realizar para proporcionar guías claras en la fase de implementación. Esta descripción se centrará en los dispositivos IoT específicos, ya que el alcance del presente trabajo no cubre en detalle el sistema que procesa los datos. En una aplicación completa del marco, también se deberían detallar los aspectos del sistema de procesamiento de datos. Las características de los dispositivos de monitorización y mantenimiento, los robots recolectores y los sacudidores de árboles se pueden consultar en las Tablas 4.3, 4.4 y 4.5. Por lo tanto, al final de esta fase se dispone de información precisa sobre los dispositivos involucrados y sus características. Esto permite seleccionar el hardware adecuado para la implementación, definir claramente las funciones que debe realizar el código creado y establecer cómo debe instalarse y desplegarse el sistema en su totalidad.

4.2.4. Fase 4: Implementación

En esta fase se procede a la programación e instalación de todos los dispositivos que forman parte de la solución. Los datos de entrada para esta fase incluyen los esquemas de conexiones y las especificaciones detalladas en el apartado anterior. El resultado de esta fase es el código y la instalación completa de la solución. Debido al alcance limitado de este trabajo y al hecho de que la empresa es ficticia, solo se desarrollará el dispositivo de IoT encargado de la monitorización del estado del suelo cerca de los árboles. En el siguiente capítulo se detallarán tanto la creación del código como la configuración del hardware. Además se realizará una simulación sobre una de las posibles implementaciones de todo el 'pipeline' definido.

Tabla 4.3: Características del dispositivo de monitorización y mantenimiento de los árboles

Funciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recoger datos del estado del árbol ▪ Enviar datos del estado del árbol ▪ Dispensar agua y/o pesticida cuando se reciba la señal.
Sector industrial	Agricultura
Localización	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ecosistema: Thing ▪ Modelo Purdue: Zona de Manufactura ▪ Movilidad: Fijo ▪ Físico: Externo
Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo: Inalámbrico ▪ Naturaleza: Casi Tiempo Real ▪ Tipo de Seguridad: Identificación ▪ Protocolos: Descubrimiento
Características del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Función: Sensor y Actuador ▪ Criticalidad: Fácil de reemplazar ▪ Interfaz: Remota ▪ Relaciones: Con el entorno
Tecnología del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuente de Energía: Luz solar ▪ Uso de Energía: bajo consumo ▪ Sistema Operativo: Software y hardware ▪ Tipo de software: código abierto ▪ Actualizaciones de Software: Actualizaciones manuales ▪ Hardware: Raspberry Pi Pico
Tipo de usuario	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de Usuario: Máquina ▪ Interfaz de Usuario: Indirecta
Tiempo de respuesta	30 segundos, no es crítico el tiempo de reacción
Acceso a información	No accede a ninguna información, solo recibe señales de dispositivos, así que tiene que estar escuchando a la señal

Tabla 4.4: Características de los robots recolectores

Funciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dirigirse al árbol que hay que recolectar de forma sincronizada con los otros robots cuando se reciba la señal. ▪ Volver a su base cuando se hayan recolectado las naranjas cuando se le envíe la señal de volver o tras 1 minuto sin haber recibido señal.
Sector industrial	Agricultura
Localización	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ecosistema: Thing ▪ Modelo Purdue: Zona de Manufactura ▪ Movilidad: IT Remoto ▪ Físico: Externo
Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo: Inalámbrico ▪ Naturaleza: Tiempo Real ▪ Tipo de Seguridad: Identificación ▪ Protocolos: Descubrimiento
Características del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Función: Actuador ▪ Criticalidad: Fácil de reemplazar ▪ Interfaz: Ninguna ▪ Relaciones: Con el entorno y otros dispositivos
Tecnología del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuente de Energía: Luz solar ▪ Uso de Energía: bajo consumo ▪ Sistema Operativo: Software y hardware ▪ Tipo de software: código abierto ▪ Actualizaciones de Software: Actualizaciones manuales ▪ Hardware: Raspberry Pi Pico
Tipo de usuario	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de Usuario: Máquina ▪ Interfaz de Usuario: Ninguna
Tiempo de respuesta	3 segundos, si se retrasan mucho pueden parar demasiado la producción y pueden dificultar la coordinación entre los otros robots. La información del estado del árbol se envía cada 5 minutos
Acceso a información	Tiene guardada en memoria la información de la distribución de los naranjos para poder organizar su ruta.

Tabla 4.5: Características de sacudidores de árboles

Funciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emitir una vibración cuando detecta de los robots recolectores están correctamente colocados
Sector industrial	Agricultura
Localización	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ecosistema: Thing ▪ Modelo Purdue: Zona de Manufactura ▪ Movilidad: Fijo ▪ Físico: Externo
Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo: Inalámbrico ▪ Naturaleza: Tiempo Real ▪ Tipo de Seguridad: Identificación ▪ Protocolos: Descubrimiento
Características del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Función: Sensor y Actuador ▪ Criticalidad: Fácil de reemplazar ▪ Interfaz: No tiene ▪ Relaciones: Con el entorno y otros dispositivos
Tecnología del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuente de Energía: Batería ▪ Uso de Energía: Bajo consumo ▪ Sistema Operativo: Puro hardware ▪ Tipo de software: código abierto ▪ Actualizaciones de Software: Actualizaciones manuales ▪ Hardware: Raspberry Pi Pico
Tipo de usuario	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de Usuario: Máquina ▪ Interfaz de Usuario: Ninguna
Tiempo de respuesta	3 segundos, si se retrasan mucho pueden parar demasiado la producción
Acceso a información	Información sobre la posición de los robots

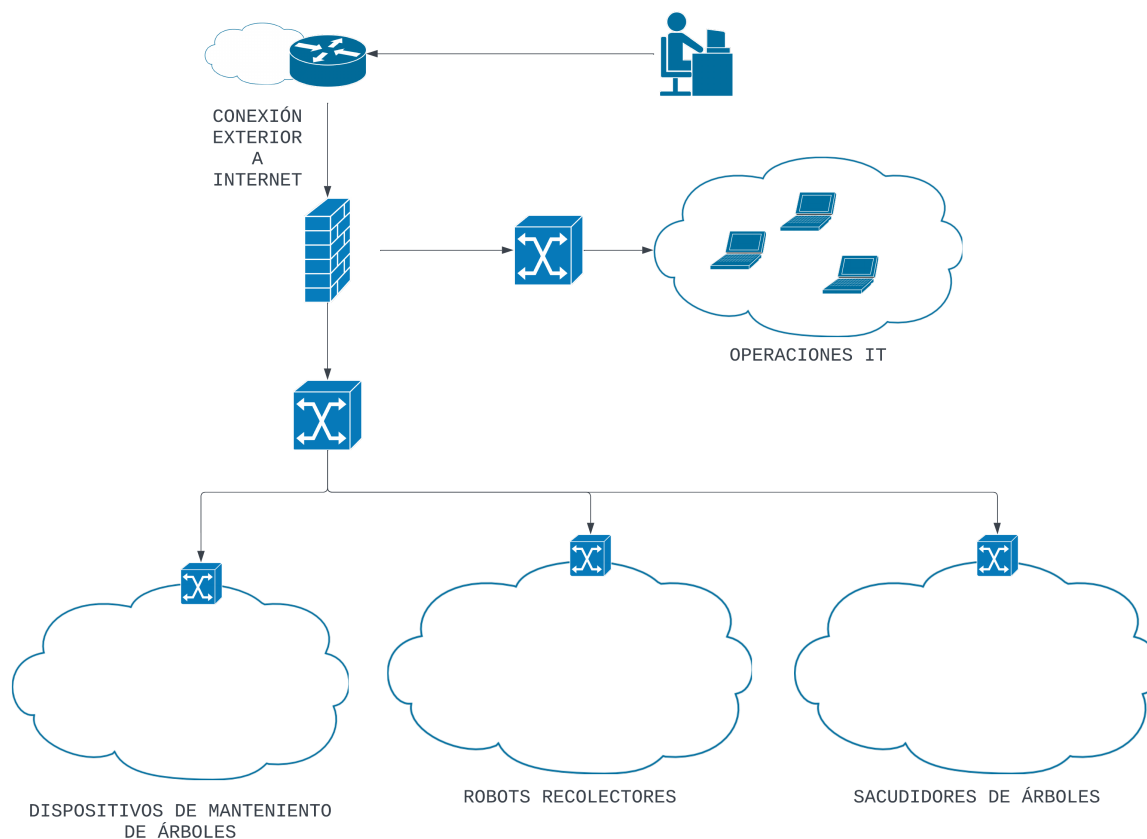


Figura 4.5: Esquema de conexiones de red

4.2.5. Fase 5: Mantenimiento

Esta fase se encarga de definir un plan del mantenimiento y monitorización del sistema. Esta fase toma como datos de entrada las tablas con las características de los dispositivos del apartado anterior y da como resultado un plan de control y mantenimiento de los dispositivos. En la Tabla 4.6 se muestra los datos que se recogen de manera continuada y los datos que se recogen una vez por semana para hacer predicciones.

Dado que los dispositivos de monitorización y los de sacudida no están conectados a ninguna maquinaria adicional, no es posible recoger datos en tiempo real sobre vibración o aceleración para detectar errores en su funcionamiento. Por ello, se propone que cada dispositivo envíe un mensaje al sistema central a intervalos regulares, como una forma de 'heartbeat' o señal de vida. El dispositivo de monitorización enviará un mensaje cada treinta segundos, mientras que el dispositivo de sacudida lo hará cada tres segundos, en correspondencia con sus respectivos tiempos de respuesta. Estos mensajes no contendrán información detallada sobre el estado del dispositivo, sino que se limitarán a verificar que el dispositivo sigue conectado y en comunicación con el sistema central, lo que permitirá detectar posibles desconexiones o fallos de comunicación.

En cuanto al robot recolector, se implementará un sistema de verificación basado en sensores para monitorear su vibración y aceleración. En reposo, el sensor deberá comprobar que la vibración es nula, y en movimiento, deberá asegurar que los valores de vibración se encuentren dentro de los rangos establecidos. Del mismo modo, en lo que respecta a la aceleración, cuando el robot esté en reposo, solo debería detectarse la aceleración debida a la gravedad, mientras que en movimiento, se controlará que la velocidad no exceda ni se quede por debajo

Tabla 4.6: Datos recogidos para la monitorización

	Dispositivo Monitoreo	Robots recolectores	Sacudidor Árboles
Recogida continua (cuando está en marcha)	Estado de la conexión	Aceleración, vibración y conexión con otros robots	Estado de la conexión
Recogida semanal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía ▪ Cantidad de agua y pesticida ▪ Posición del dispositivo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía ▪ Conexión con los otros robots ▪ Desgaste de ruedas ▪ Posición del dispositivo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía ▪ Posición del dispositivo

de los umbrales permitidos. Además, se verificará constantemente que la conexión entre los robots recolectores, que trabajan de manera coordinada, se mantenga activa. Esta sincronización es esencial, ya que los robots no pueden moverse a velocidades diferentes sin comprometer la eficiencia de la recolección, ni perder la comunicación entre ellos. Estas comprobaciones se realizarán cada tres segundos, acorde al tiempo de respuesta necesario para el funcionamiento óptimo del sistema.

Respecto a los datos recogidos de forma semanal a todos los dispositivos, se comprueba que el consumo de energía a lo largo de la semana entra dentro de los rangos preestablecidos y que posición del dispositivo no está alterada. Esto último se comprueba mediante un giroscopio que llevarán los dispositivos de IoT que indicarán si el dispositivo se ha caído o volcado. Además, en el dispositivo de mantenimiento se comprueba de forma semanal la cantidad de agua y pesticida que tiene en su suministro, ya que se pretende que sea lo suficientemente grande para poder suministrar durante una semana. Por otro lado, respecto a los robots recolectores se quiere comprobar el desgaste de las ruedas ya que suelo de tierra de campo puede desgastar estas rápidamente. Con esto se pretende controlar y predecir el estado de los componentes de este ecosistema de IoT.

4.3 Evaluación y ajustes

La evaluación final del marco debería basarse en la verificación numérica de los objetivos establecidos en la primera fase. Sin embargo, realizar una evaluación completa en esta aplicación es complicado debido a que se trata de un caso ficticio creado para ejemplificar el uso del marco teórico. A pesar de ello, dado que esta industria es de gran relevancia en la Comunidad Valenciana, se espera que en futuros proyectos, ya sean propios o de otros investigadores que utilicen este trabajo como referencia, se puedan obtener datos reales. Esto permitirá evaluar si el marco contribuye efectivamente a mejorar la automatización y productividad en empresas del sector.

Por otro lado, se pretende que el marco se pueda extender a otro tipo de industrias. Por lo tanto, se listan a continuación algunos de los ajustes y aspectos a tener en cuenta en la aplicación del marco presentado en diferentes contextos:

- **Personalización de objetivos:** Los objetivos del marco deben ajustarse a las necesidades específicas de cada proyecto. Esto incluye definir claramente los indicadores de éxito y los resultados esperados.
- **Flexibilidad en la implementación:** Dado que cada industria y empresa puede tener diferentes capacidades y recursos, es importante que el marco permita cierta flexibilidad en su implementación. Esto podría implicar la adaptación de ciertos procesos o herramientas utilizadas.
- **Revisión continua:** Es crucial establecer mecanismos para la revisión y actualización continua del marco teórico. Esto garantizará que se mantenga relevante y efectivo frente a los cambios en el entorno empresarial y tecnológico.
- **Incorporación de feedback:** La retroalimentación de los usuarios y partes interesadas es de gran importancia. Incluyendo mecanismos para recoger y analizar este feedback ayudará a identificar aspectos a mejorar para ajustar el marco.
- **Formación y soporte:** Para asegurar una buena implementación, es necesario proporcionar la formación adecuada a los empleados y ofrecer soporte continuo. Esto podría incluir la creación de manuales, guías de usuario y cursos de formación.
- **Consideración de la cultura organizacional:** Cada organización tiene su propia cultura y forma de operar. Adaptar el marco teórico para que se alinee con la cultura organizacional puede facilitar su aceptación y efectividad.

Al realizar estos ajustes, se espera que el marco teórico pueda ser aplicado de forma exitosa en diversos tipos de industria, contribuyendo así a la mejora de la automatización y productividad en diferentes contextos empresariales.

CAPÍTULO 5

Implantación

En este capítulo se procederá a explicar la implementación de parte del dispositivo de monitorización y mantenimiento, así como la creación de una simulación del pipeline de integración del marco aplicado en la sección anterior utilizando Amazon Web Services (AWS)¹. En cuanto al dispositivo de monitorización, debido a la falta de materiales como un soldador o una impresora 3D, se presenta un prototipo en lugar del producto final. El resultado es un microcontrolador que envía datos sobre el estado de la humedad del suelo a un servicio de AWS.

Además, se explicará el proceso de simulación y los servicios utilizados, desde la recolección de datos hasta su almacenamiento. A lo largo de este capítulo se describirán los componentes de hardware, el código implementado, y la comunicación mediante mensajes a través de una conexión WiFi, para que el dispositivo IoT pueda enviar información sobre el estado del suelo. También se detallarán los servicios de AWS empleados para completar el pipeline, incluyendo la integración de los datos y su manejo en la nube.

5.1 Descripción de hardware

A continuación, se describen todos los elementos físicos que componen el dispositivo IoT, detallando su selección y la funcionalidad de cada uno en el sistema.

- **Microcontrolador:** El microcontrolador seleccionado es el Raspberry Pi Pico W. Este modelo se ha elegido por varias razones: en primer lugar, dispone de conectividad WiFi, lo que permite la comunicación con un ordenador y el envío de datos de forma inalámbrica. Además, su uso previo en proyectos similares ha demostrado su fiabilidad y facilidad de integración. La capacidad de procesamiento y la disponibilidad de múltiples pines de entrada/salida lo convierten en una opción versátil y potente para este tipo de aplicaciones IoT.
- **Sensor de humedad del suelo:** El sensor escogido es el AZDelivery Sensor de Humedad del Suelo V1.2 Módulo Higrómetro. La elección de este sensor se debe principalmente a su facilidad de uso, ya que no requiere soldadura de componentes adicionales, lo que simplifica el proceso de montaje y reduce la necesidad de herramientas especializadas. Este sensor permite medir la humedad del suelo con precisión, enviando datos esenciales para el monitoreo de condiciones ambientales de los árboles.
- **Placa de pruebas:** La placa de pruebas es un componente común en la fase de prototipado. Facilita la conexión del microcontrolador y el sensor de humedad del suelo, per-

¹<https://aws.amazon.com/es/>

mitiendo establecer las conexiones eléctricas necesarias de manera temporal y ajustable. Esto permite realizar pruebas y ajustes sin la necesidad de soldar, lo cual es apropiado durante el desarrollo del dispositivo.

- **Cableado:** El cableado incluye varios elementos esenciales para la alimentación y comunicación de los componentes. Un cable conecta el microcontrolador a una fuente de alimentación, en este caso un ordenador personal, que suministra la energía necesaria para su funcionamiento. Además, se emplean otros cables para conectar el sensor de humedad al microcontrolador, permitiendo tanto su alimentación como la transmisión de datos entre ambos dispositivos. Esta configuración asegura que el sistema pueda operar de manera continua y fiable, recopilando y enviando información sobre la humedad del suelo.

Uno de los proyectos futuros relacionados con el exterior del dispositivo es la creación de una carcasa protectora mediante impresión 3D. Esta carcasa tendrá el propósito de proteger los componentes electrónicos de las inclemencias del tiempo, como la lluvia y el polvo, y permitirá adaptar el dispositivo a diferentes tipos de terreno. Además de ofrecer protección, una carcasa bien diseñada puede mejorar la estética y la funcionalidad del dispositivo, facilitando su manejo e instalación en entornos exteriores.

5.2 Descripción del código

Uno de los lenguajes más utilizados para sistemas empujados es C, como se menciona en [45], pero dado el reciente auge de un nuevo lenguaje para sistemas embebidos llamado MicroPython, basado en Python, se ha decidido implementar parte del proyecto con este lenguaje. Esto permite alinearse con los nuevos avances tecnológicos y aprovechar las ventajas de un lenguaje más accesible y flexible para el desarrollo de sistemas embebidos.

El flujo de información en la primera parte del código consiste en que el sensor recoja los datos y los envíe al microcontrolador. La segunda parte del flujo implica el envío de esos datos desde el microcontrolador al servicio IoT Core de AWS utilizando el protocolo Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). MQTT es un protocolo de mensajería cliente-servidor basado en un esquema de publicación/suscripción, conocido por su sencillez y facilidad de implementación. En este esquema, los dispositivos que envían mensajes son denominados publicadores, y aquellos que los reciben son suscriptores. Cualquier dispositivo que utilice MQTT puede publicar o recibir mensajes siempre que esté asociado a un tema específico, lo que facilita la comunicación eficiente en redes IoT [46].

Lo primero que se ha hecho es cablear el sensor al microcontrolador como se ve en la Figura 5.1. El cable negro representa la conexión a tierra, el cable rojo la conexión con el voltaje y el cable amarillo el cable por el cual se realiza el recogido de datos que corresponde con el pin GP26 de la Raspberry Pico Pi W. A continuación, se ha procedido a crear el código para recibir los datos del nivel de humedad del suelo.

En el código, las librerías y archivos importados para este proyecto son *time*, *Pin* y *ADC*, *secrets*, *network* y *MQTTClient* de la librería *umqtt.simple* como se ve en el extracto de código 5.1. Se especifica a continuación el uso de cada librería en el código:

- La librería *time* se utiliza para emplear la función *sleep*, la cual para la ejecución del código durante una cantidad determinada de tiempo.
- La librería *Pin* ha sido importada para poder acceder a la información de las lecturas de un pin específico del microcontrolador.

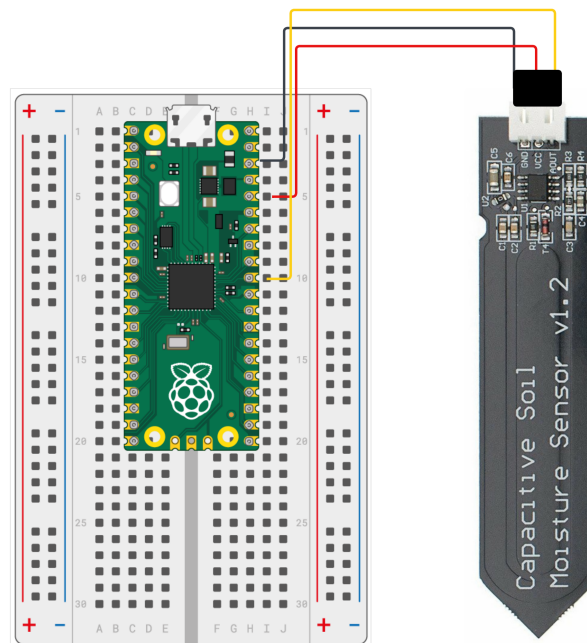


Figura 5.1: Esquema de conexiones del microcontrolador

- La librería *ADC* se importa para gestionar las entradas análogas, esto quiere decir que el valor de humedad se da en un rango de voltaje.
- El archivo importado *secrets* contiene información respecto al SSID y contraseña del WiFi usado para entablar dicha conexión e información sobre la comunicación del dispositivo con los servicios de AWS.
- La librería *network* sirve para entablar conexión WiFi usando las credenciales especificadas en el archivo anterior.
- El objeto *MQTTClient* de *umqtt.simple* permite el envío de mensajes de MQTT, que es como se envía información al servicio AWS IoT Core.

```

1 from machine import Pin, ADC
2 import time
3 import secrets
4 import network
5 from umqtt.simple import MQTTClient

```

Listing 5.1: Librerías importadas

Se crean dos variables globales para la lectura y escritura de valores a lo largo del código como se ve en el extracto de código 5.2. La primera, *moistureSensor*, es una variable que guarda la dirección del pin 26 por dónde se recibe la señal analógica del sensor. La segunda, *wlan*, se inicializa como un string vacío, pero más adelante almacena los datos de conexión WiFi.

```

1 moistureSensor = ADC(Pin(26))
2 wlan = ""

```

Listing 5.2: Variables de recogida de datos

Para enviar mensajes al servicio IoT Core de AWS, encargado de gestionar datos y conexiones de dispositivos IoT, se requieren certificados para asegurar que la conexión sea segura. Para ello, se crea una 'Thing' en el servicio IoT Core; una vez creada, se pueden descargar una clave y un certificado que permitirán establecer una conexión SSL segura. Esta 'Thing' creada puede observarse en la Figura 5.2.

Para enviar mensajes MQTT, es necesario utilizar un tema (topic) en el que se publicarán los datos. En este caso, el tema debe tener una sintaxis específica, que incluya el ID del dispositivo creado anteriormente, además de opcionalmente incluir el nombre del dato que se está enviando. Finalmente, los valores de la clave y el certificado se almacenan en la carpeta certs y se referencian en las variables `DEV_KEY` y `DEV_CERT`. Todo este proceso se puede visualizar en el extracto de código 5.3.

The screenshot shows the AWS IoT Core console interface for a Thing named 'RaspberryPiPicoW'. At the top, there are buttons for 'Create secure tunnel', 'Edit', and 'Delete'. Below this, the 'Thing details' section shows the Name 'RaspberryPiPicoW', Type '-', ARN 'arn:aws:iot:us-east-1:699475956938:thing/RaspberryPiPicoW', and Billing group '-'. A navigation bar below the details includes tabs for 'Attributes', 'Certificates', 'Thing groups', 'Device Shadows', 'Activity', 'Packages and versions', 'Jobs', and 'Alarms'. The 'Certificates' tab is selected, showing 'Certificates (1) Info' and a search bar. Below the search bar is a table with one row containing a Certificate ID and its status 'Active'.

Certificate ID	Status
c47c0c3d663f202aa6ca7a5441d29fe8cf0db7d1fc5f51ea973534fc09594414	Active

Figura 5.2: Thing creada para el proyecto

```

1 PUB_TOPIC = b'' + secrets.CLIENT_ID + '/soil-moisture'
2 with open('/certs/key.der', 'rb') as f:
3     DEV_KEY = f.read()
4 # Thing Certificate
5 with open('/certs/cert.der', 'rb') as f:
6     DEV_CERT = f.read()

```

Listing 5.3: Datos y claves para la publicación

La recogida de valores del sensor de humedad se define en la función mostrada en el extracto de código 5.4. Antes de iniciar el bucle, se inicializa la variable `levelMoisture` como una lista vacía, la cual se utiliza para almacenar los niveles de humedad y vaciar los datos de la lectura anterior. Dentro del bucle, que se repite 5 veces, se realiza una estimación del nivel de humedad. Esto se hace promediando las últimas 5 mediciones, ya que las señales analógicas suelen ser ligeramente inestables. En cada iteración del bucle, se lee el valor del pin 26 del sensor de humedad y se almacena en la variable `moistureSensor`. Este valor se añade al array `levelMoisture`. Al finalizar el bucle, se calcula la media de los valores almacenados en `levelMoisture`, y el resultado se guarda en la variable `avg_value`.

```
1 # Function to update the average moisture value
2 def update_avg_value():
3     global avg_value
4     levelMoisture = []
5
6     # Collect moisture readings
7     for i in range(5):
8         reading = moistureSensor.read_u16() # Read voltage
9         levelMoisture.append(reading)
10        time.sleep(1)
11
12    avg_value = sum(levelMoisture) / len(levelMoisture) # Calculate average
13    moisture_level
14    print("Average value updated:", avg_value)
```

Listing 5.4: Bucle de recogida de datos

Respecto al valor recibido del sensor, es importante notar que un valor más alto indica menor humedad. Para determinar el nivel de humedad, se dividen los valores en tres rangos: seco, húmedo y mojado. A través de la experimentación, siguiendo las instrucciones del sensor, se pueden establecer los valores correspondientes a los estados de seco y mojado. Esto se logra midiendo el sensor en el aire (para obtener el valor seco) y en un vaso de agua (para obtener el valor mojado). El valor recibido se interpreta según su posición relativa entre estos extremos. El rango óptimo de humedad puede determinarse mediante experimentación directa o utilizando un modelo que aprenda de los datos de humedad y del estado de las plantas, como se sugiere en [47].

Al inicio de la lógica del programa, es necesario establecer una conexión WiFi con el microcontrolador para poder enviar los datos al servicio IoT Core. Las funciones para la conexión y las credenciales necesarias se encuentran almacenadas en las librerías o archivos *network* y *secrets.py*, respectivamente, como se describió anteriormente. Una vez que se tiene esta información, se intenta establecer la conexión WiFi. Se incluye una espera de 5 segundos para permitir que la conexión se establezca correctamente, ya que este proceso puede ser ligeramente lento. Finalmente, se verifica si la conexión se ha realizado de manera satisfactoria. El código correspondiente a esta operación se muestra en 5.5.

```
1 # Function to connect to WiFi
2 def connect_to_wifi():
3     global wlan
4     wlan = network.WLAN(network.STA_IF)
5     wlan.active(True)
6     wlan.connect(secrets.SSID, secrets.PASSWORD)
7     time.sleep(10)
8     if wlan.isconnected():
9         print("Connected to WiFi!")
10    else:
11        print("Failed to connect to WiFi")
12
```

Listing 5.5: Código para establecer conexión

En la Figura 5.6 se muestra la lógica principal del programa. El proceso comienza estableciendo una conexión a Internet utilizando la función *connect_to_wifi* y conectándose al servicio IoT Core para permitir la publicación de mensajes mediante el protocolo MQTT. Para esta última tarea, se crea una variable llamada *mqtt* que contiene la información necesaria para establecer la conexión. Esta variable incluye los datos del cliente, el servidor al que se desea enviar los datos, el puerto para la comunicación, y las credenciales necesarias para una conexión SSL segura, como la clave y el certificado.

Una vez que la conexión se ha establecido exitosamente mediante la función `mqtt.connect()`, se entra en un bucle infinito. Dentro de este bucle, se actualiza continuamente el valor de humedad del suelo y se publica este valor en el tema de MQTT previamente definido.

```

1  try:
2  connect_to_wifi()
3  # Set AWS IoT Core connection details
4  mqtt = MQTTClient(
5      client_id=secrets.CLIENT_ID,
6      server=secrets.AWS_ENDPOINT,
7      port=8883,
8      keepalive=5000,
9      ssl=True,
10     ssl_params={'key':DEV_KEY, 'cert':DEV_CERT, 'server_side':False})
11
12 # Establish connection to AWS IoT Core
13 try:
14     mqtt.connect()
15 except Exception as e:
16     print("Error connecting to AWS IoT Core:", e)
17 # Main loop – with 5 sec delay
18 while True:
19     # Publish the soil moisture level
20     moisture_level = update_avg_value()
21     message = b'{"soil_moisture":%s}' % moisture_level
22     mqtt.publish(topic=PUB_TOPIC, msg=message, qos=0)
23     time.sleep(5)
24
25 except OSError:
26     print("@"*68)
27     print("@ Cannot connect to the Wi-Fi, please check your SSID and PASSWORD @")
28     print("@"*68)

```

Listing 5.6: Bucle de la lógica principal

5.3 Pipeline de Amazon Web Services

Como se adelantó al inicio del capítulo, además de crear el dispositivo para la recolección de datos, se ha diseñado un flujo de datos que la empresa descrita en el apartado anterior podría utilizar al implementar el marco teórico. Este flujo se basa en el descrito en un artículo de AWS [48]. El esquema de este flujo se puede observar en la Figura 5.3. AWS es una plataforma que permite la creación de servicios y microservicios en la nube. Se ha elegido esta opción por su asequibilidad, ya que, en entornos no productivos, la mayoría de los elementos son gratuitos, y por su amplia variedad de servicios. Esto significa que, partiendo de este esquema, es posible ampliar la infraestructura hacia otros servicios adicionales. Además, AWS ofrece formas de conectar sus servicios con los de otras compañías, facilitando así el crecimiento y la integración del esquema.

El esquema comienza con la recolección de datos por parte del servicio IoT Core, que se ha llevado a cabo en el apartado anterior mediante el dispositivo Raspberry Pi Pico. Sin embargo, también existe la opción de crear simulaciones con dispositivos virtuales usando el servicio AWS CloudFormation, permitiendo extraer datos de estos dispositivos simulados.

A continuación, para enviar la información recopilada a una base de datos, los datos deben ser transmitidos desde AWS IoT Core a través de Amazon Managed Streaming for Apache Kafka (Amazon MSK). Amazon MSK, a su vez, se conecta con la base de datos AWS Amazon DocumentDB mediante un conector de Apache Kafka.

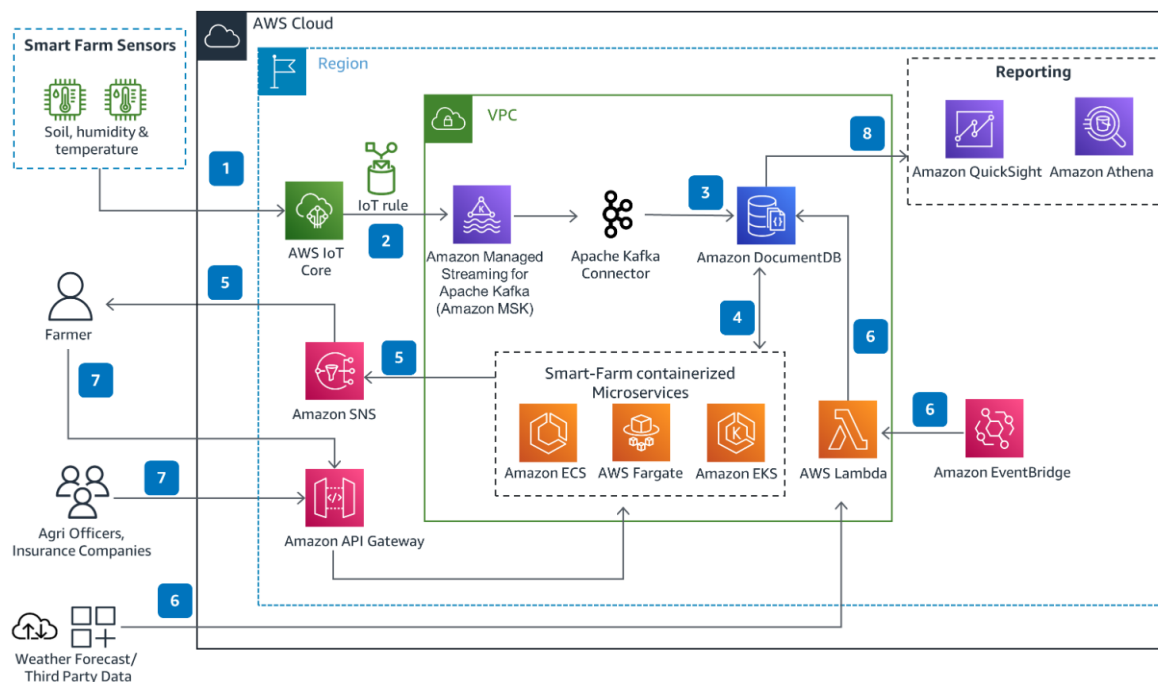


Figura 5.3: Esquema del pipeline para red de IoT

Una vez que la información está almacenada en la base de datos, puede ser utilizada de diversas maneras. Otros dispositivos IoT pueden consultar la base de datos para obtener información sobre el estado de los árboles. Además, servicios como Amazon QuickSight o Amazon Athena pueden utilizarse para visualizar la información almacenada.

Con AWS Lambda, se puede procesar automáticamente la información recopilada por los dispositivos IoT, realizar análisis en tiempo real y desencadenar acciones basadas en eventos específicos, como ajustar el riego en función de las previsiones meteorológicas si se integra con un servicio de pronóstico del tiempo. También se puede conectar con Amazon SNS para enviar notificaciones al personal sobre el estado de las plantas y los servicios. Finalmente, es posible conectar otros microservicios a la base de datos para distribuir la información en diferentes ubicaciones.

A continuación, se va a describir las partes desarrolladas para el presente trabajo y se va a hacer una reflexión sobre las ventajas e inconvenientes del uso de AWS en este contexto según la experiencia de realizar el presente trabajo.

5.3.1. Descripción de los servicios

Como se ha descrito anteriormente, el envío de datos a AWS IoT Core desde los dispositivos se realiza mediante la comunicación MQTT. Este proceso se implementó en el apartado anterior utilizando la Raspberry Pi Pico W. Además, existe la opción de simular dispositivos IoT mediante el servicio IoT Device Simulator ofrecido por AWS. Este servicio permite crear diferentes dispositivos con diversos parámetros, y definir los mensajes MQTT en un archivo JSON.

Luego, utilizando un simulador, se pueden seleccionar los dispositivos y su cantidad para crear una simulación del funcionamiento de un ecosistema IoT. La Figura 5.4 muestra la descripción de la simulación creada. Dado que cada dispositivo solo puede publicar en un único

tema MQTT, se ha tenido que crear varias instancias del mismo dispositivo para cubrir los diversos temas. En referencia a la aplicación del modelo, el extracto de código JSON 5.7 muestra la estructura de los mensajes para cada tema, mientras que la tabla 5.1 detalla qué mensajes corresponden a cada dispositivo y si estos publican o se suscriben a esos mensajes.

```

1  pickUp: mensaje que da información sobre el árbol recogido o a
2      recoger
3  {
4      "tree_id": "",
5      "to-pickUp": booleano que indica si el árbol está por recoger,
6      "pickedUp": booleano que indica si el árbol ya ha sido recogido
7  }
8
9  connectionState: informa del estado de la conexión del dispositivo
10 {
11     "id": "", identificador del dispositivo
12     "type": "", si se trata del sacudidor, robot o dispositivo de
13     mantenimiento
14     "alive": 1
15 }
16
17 energyConsumption: Consumo medio del dispositivo, mensaje enviado
18 semanalmente como parte del mantenimiento
19 {
20     "id": "", identificador del dispositivo
21     "type": "", si se trata del sacudidor, robot o dispositivo de
22     mantenimiento
23     "consumption": 0 # consumo medio en vatios
24 }
25
26 robotPosition: Posición del robot
27 {
28     "robot_id": "rLdMw4VRZ",
29     "geoPos": "{ 'latitude': 0, 'longitudo': 0 }",
30     "orientation": {
31         "x_axis": 101,
32         "y_axis": -10,
33         "z_axis": 1
34     }
35 }
36
37 shakerPosition: Posición del sacudidor de árboles
38 {
39     "id": "",
40     "geoPos": "{ 'latitude': '', 'longitudo': '' }", posición en
41     coordenadas del dispositivo
42     "orientation": {
43         "x_axis": 0,
44         "y_axis": 0,
45         "z_axis": 0
46     }
47 }
48
49 monitoringPosition: Posición del dispositivo de monitorización
50 {
51     "id": "",
52     "geoPos": "{ 'latitude': '', 'longitudo': '' }", posición en
53     coordenadas del dispositivo

```

```

48     "orientation": {
49         "x_axis": 0,
50         "y_axis": 0,
51         "z_axis": 0
52     }
53 }
54
55 moisture: Nivel de humedad del suelo
56 {
57     "tree_id": "",
58     "moisture-level": 0
59 }

```

Listing 5.7: Estructura de los mensajes de MQTT

Sacudidor de árbol	Publicación	Suscripción
	pickUp, shakerPosition, connectionState, energyConsumption	robotPosition, pickUp
Robots Recolectores	Publicación	Suscripción
	robotPosition, connectionState	pickUp, robotPosition
Monitorización y Mantenimiento	Publicación	Suscripción
	moisture, pickUp, monitoringPosition, connectionState, energyConsumption	maintenanceOrder

Tabla 5.1: Asignación de temas MQTT

Una vez se han recibido los datos por IoT Core, mediante una IoT Rule que se automatiza las acciones que se realizan cuando llegan los datos. Como se ve en la Figura 5.5, se configura una regla que especifica que, al recibir los datos, estos deben ser enviados al servicio de Apache Kafka dentro del VPC definido.

Apache Kafka es una plataforma de streaming de eventos distribuidos de código abierto [49], por ello es utilizada por AWS. Apache Kafka es la plataforma encargada de enviar los datos a la base de datos DocumentDB de AWS. El VPC (Virtual Private Cloud) es una red virtual privada que permite desplegar recursos en un entorno aislado y controlado, lo que contribuye a la seguridad y la integridad de los datos transmitidos dentro de esta red. Dentro de un VPC, se pueden definir subredes y rangos de direcciones IP autorizadas para acceder a la red. La descripción de la regla creada se puede ver en la Figura 5.6

Para que la información pueda ser recibida por el servicio de base de datos de AWS, Amazon DocumentDB, mediante la IoT Rule anteriormente definida hace falta crear una instancia del servicio Amazon MSK. Este servicio sirve para gestionar el flujo de datos a tiempo real y garantizar que los datos se procesar de forma escalable. Cuando se configura este y otros servicios es importante que estén todos bajo el mismo VPC y los mismos grupos de seguridad ya que si se detecta que otro servicio no esta en la misma red o no tiene los permisos para conectarse no se produce la conexión. La instancia creada de este servicio para el presente trabajo se puede ver en la Figura 5.7.

Otra medida de seguridad implementada es la autenticación SASL/SCRAM. Para crear la IoT Rule, es necesario especificar las claves asociadas a esta autenticación. Estas claves están gestionadas por otro servicio de AWS llamado AWS Secrets Manager. La clave asociada al

Agriculture-Simulation

▶ Start
■ Stop
↻ Refresh

NAME:	agriculture-simulation	RUNS:	2
STAGE:	stopping	LAST RUN:	2024-09-03T17:36:16.470Z
CREATED:	2024-09-03T17:33:48.158Z	LAST UPDATED:	2024-09-03T17:50:38.461Z

Topic
Messages
Device Filter: All ▾

pickUp

r

- [conectionState](#)
- [energyConsumption](#)
- [moisture](#)
- [monitoringPositionMaintenance](#)
- [shakerPosition](#)

Figura 5.4: Características del simulador

Actions
Error action
Tags

Actions (1) View details

Actions occur when an event is triggered. Actions are executed until all actions are completed or an error occurs. To add or remove actions, you will need to edit the rule.

	Service	Action
<input type="radio"/>	Apache Kafka Cluster	Send a message to Apache Kafka within a VPC

Figura 5.5: Regla asociada a la IoT Rule

my_iot_rule Info

Activate
Deactivate
Edit
Delete

Details

Description

-

<p>ARN</p> <p>arn:aws:iot:us-east-1:699475956938:rule/my_iot_rule</p> <p>Status</p> <p>✔ Active</p>	<p>Topic</p> <p>sdk/test/js</p> <p>Basic ingest topic</p> <p>\$aws/rules/my_iot_rule</p>	<p>Created date</p> <p>September 05, 2024, 10:51:47 (UTC+02:00)</p>
--	--	---

Figura 5.6: Descripción de la IoT Rule

my-iot-provisioned-msk Actions ▾

Cluster summary View client information

Status	User action status	Apache Kafka version	Last modified
Active	-	3.5.1	September 5, 2024 at 12:50 UTC
Cluster type	Total number of brokers	ARN	Creation time
Provisioned	2	arn:aws:kafka:us-east-1:699475956938:cluster/my-iot-provisioned-msk/314d320d-54bb-4908-a58d-42f025698bd7-9	September 4, 2024 at 18:29 UTC

Metrics | **Properties** | Cluster operations | Cluster alerts (0) | Tags (0) | Pipes | S3 delivery

Apache Kafka version Upgrade

Apache Kafka version	Metadata mode - <i>new</i>
3.5.1	ZooKeeper

Figura 5.7: Descripción del servicio Amazon MSK

servicio MSK se puede observar en la Figura 5.8. Esta es una medida adicional para reforzar la seguridad dentro de la nube.

SASL/SCRAM authentication
Enabled

Associated secrets from AWS Secrets Manager
1

Associated secrets from AWS Secrets Manager (1) Refresh Disassociate Associate secrets

Amazon MSK uses credentials store in AWS Secrets Manager for SASL/SCRAM authentication. [Learn more](#)

Find secrets

<input type="checkbox"/>	Secret name	Description	Last retrieved
<input type="checkbox"/>	AmazonMSK_my_msk_secret	-	September 5, 2024 at 00:00 UTC

TLS client authentication through AWS Certificate Manager (ACM)
Not enabled

AWS Private Certificate Authority (CA)
-

Figura 5.8: Secreto asociado con MSK

Para conectar la información de MSK con Amazon DocumentDB, hace falta la utilización de MSK Connect. Esta característica dentro del servicio Amazon MSK, facilita la integración de Apache Kafka con otras bases de datos y sistemas de almacenamiento mediante el uso de conectores. Los conectores permiten la transferencia de datos entre Kafka y una base de datos específica. Para la creación de estos hace falta el plugin de Kafka Connect que contiene la implementación de los conectores y los detalles de la base de datos a la que si quiere conectar.

En la Figura 5.9 se muestran las características del plugin utilizado. El código de este plugin se ha importado y asociado a través de un Bucket de Amazon S3. Este servicio de S3 permite subir datos desde el ordenador, lo que contribuye a mejorar la seguridad al almacenar y gestionar datos de manera centralizada.

Una vez creado el plugin, se asocia la configuración al conector, como se observa en la Figura 5.10. Esta configuración incluye la dirección de conexión de la base de datos (especificada en el parámetro `connection.uri`), la dirección del archivo de confianza para la conexión segura (especificada en el parámetro `connection.ssl.truststore`), y otros parámetros relacionados con la conexión y su configuración.

Custom plugin summary

Status 🟢 Active	ARN arn:aws:kafkaconnect:us-east-1:699475956938:custom-plugin/docdb-connector-plugin/0a4fe353-57fe-4ad8-a744-6fad474564c5-2	Creation time September 5, 2024 at 10:35 UTC
Custom plugin object in Amazon S3 docdb-connector-plugin.zip		Revision number 1

▶ View description

Figura 5.9: Características del plugin de Kafka

Connector configuration

Connector configurations are key-value mappings. [Learn more](#)

Connector configuration Copy

```

1 connector.class=com.mongodb.kafka.connect.MongoSinkConnector
2 connection.ssl.truststorePassword=${ssm::/docdb/12345678Aa/caCertPass}
3 tasks.max=1
4 topics=sink-topic
5 config.providers.ssm.class=com.amazonaws.kafka.config.providers.SsmParamStoreConfigProvider
6 config.providers.sm.class=com.amazonaws.kafka.config.providers.SecretsManagerConfigProvider
7 config.providers=s3import,ssm,sm
8 collection=sinkcollection
9 config.providers.sm.param.region=us-east-1
10 connection.ssl.truststore=${s3import:us-east-1:my-mongodb-bucket>/rds-truststore.jks}
11 config.providers.s3import.param.region=us-east-1
12 database=sinkdatabase
13 value.converter.schemas.enable=false
14 connection.uri=mongodb://milego:12345678Aa@my-documentdb-cluster.cluster-clok8g6ms00w.us-east-1.docdb.amazonaws.com:27017/?tls=true&
15 errors.tolerance=all
16 config.providers.ssm.param.region=us-east-1
17 value.converter=org.apache.kafka.connect.json.JsonConverter
18 key.converter=org.apache.kafka.connect.storage.StringConverter
19 config.providers.s3import.class=com.amazonaws.kafka.config.providers.S3ImportConfigProvider

```

Figura 5.10: Configuración del conector

Para la configuración y funcionamiento de una base de datos AmazonDocumentDB hace falta la creación previa de una instancia de EC2. Este es un servicio de computación en la nube que proporciona capacidad de procesamiento escalable en la nube de AWS. EC2 permite a los usuarios lanzar y administrar instancias de servidores virtuales en la nube, lo que facilita la ejecución de aplicaciones, el procesamiento de datos y la ejecución de tareas computacionales sin necesidad de hardware físico local, en este caso el servicio es una base de datos.

Al configurar la instancia EC2, como se ha mencionado previamente, es importante que se defina en la misma VPC que el resto de elementos y que tengan los mismos grupos de seguridad para asegurar la conexión entre los servicios. Se puede interactuar con la instancia EC2 mediante una terminal, en esta se descarga el conector de Kafka para poder conectarse con el otro conector y se descarga además las claves para el acceso de la base de datos utilizados por el conector para acceder a la base de datos. Se observan las características de la base de datos en la Figura 5.11. Finalmente, así se finaliza la conexión entre AWS IoT Core que es donde se reciben los datos y la base de datos donde se guardan dichos datos.

my-documentdb-cluster Refresh Modify

▼ Summary

Engine version docdb 5.0.0	Cluster status 🟢 Available	Pending maintenance None	Cluster parameter group status in-sync
	Instance status 🟢 1 / 1 instances are available		

[Connectivity & security](#) | [Instances](#) | [Configuration](#) | [Monitoring](#) | [Events & tags](#) | [Maintenance & backups](#) | [zero-ETL ir](#) >

Connect

[Getting Started Guide](#) | [Enabling/Disabling TLS](#) | [Connecting programmatically](#)

Download the Amazon DocumentDB Certificate Authority (CA) certificate required to authenticate to your cluster [Copy](#)

```
wget https://truststore.pki.rds.amazonaws.com/global/global-bundle.pem
```

Connect to this cluster with the mongo shell [Copy](#)

```
mongo --ssl --host my-documentdb-cluster.cluster-clok8g6ms00w.us-east-1.docdb.amazonaws.com:27017 --sslCAFile global-bundle.pem --username milego --password <insertYourPassword>
```

Figura 5.11: Descripción de la base de datos

Se ha descrito el ‘pipeline’ básico del esquema presentado al inicio del apartado. A partir de esta base, se pueden añadir otros servicios para expandir las funcionalidades de la red, como servicios de visualización de datos o la integración de microservicios adicionales.

5.3.2. Ventajas e inconvenientes de usar Amazon Web Services

Tras la implementación de parte del ‘pipeline’, se procede a hacer unas reflexiones sobre el uso de AWS en este contexto. Se divide esta reflexión en ventajas e inconvenientes:

■ Ventajas

- Seguridad: mediante VPC, roles y otros elementos de seguridad, AWS facilita la implementación de seguridad y dificulta los ciberataques.
- Diversidad de herramientas: cuenta con una gran variedad de servicios, además de la posibilidad de conectarse con microservicios de otros orígenes, lo que amplía las posibilidades de integración y expansión de la red.
- Flexibilidad: todos los servicios son altamente personalizables, por lo que esta solución se puede adaptar a empresas con perfiles muy diversos.

■ Inconvenientes

- Complejidad: la implementación puede ser compleja para usuarios no familiarizados con los servicios de AWS. Así que la utilización de esta solución requiere contar con alguien con experiencia en AWS en la compañía.
- Documentación desactualizada: parte de la documentación de AWS utilizada para desarrollar los servicios anteriormente descritos estaba desactualizada, lo cual ha dificultado el desarrollo.

En conclusión, AWS puede ser una herramienta poderosa para la integración de IoT y OT, especialmente cuando se cuenta con un experto en AWS. A pesar de la amplia variedad de servicios y las robustas medidas de seguridad que ofrece, la complejidad del proceso puede ser un desafío para quienes no tienen experiencia significativa con esta plataforma. Por lo tanto, contar con conocimientos profundos en AWS es crucial para aprovechar al máximo sus capacidades y facilitar la implementación.

CAPÍTULO 6

Implicaciones Éticas

En este capítulo, se abordarán diversos aspectos éticos que deben ser considerados cuidadosamente en el contexto del despliegue del IIoT. La integración de tecnologías avanzadas en el ámbito industrial no solo ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia y la productividad, sino que también plantea una serie de desafíos éticos que requieren atención minuciosa. Se analizarán estos aspectos desde diferentes perspectivas, destacando la importancia de tratar cada uno de ellos de manera integral para asegurar que el avance tecnológico esté acompañado de un sólido compromiso con los principios éticos fundamentales.

6.1 Tratamiento de datos

Actualmente, los datos son uno de los activos más valiosos para las empresas, por lo que su manejo es crítico en varios aspectos. En el contexto de IIoT, si los dispositivos están relacionados con los empleados de la compañía, pueden recopilar información sensible como patrones de comportamiento y localización. Esta información puede ser especialmente delicada si los trabajadores no están conscientes de su recolección, lo que los hace más vulnerables. Además, el 'hackeo' y la manipulación maliciosa de estos dispositivos representan riesgos significativos para la integridad de la infraestructura de la empresa y la seguridad de sus empleados.

Por lo tanto, las compañías que implementan IIoT deben limitar la recolección de datos a solo aquella información necesaria y no sensible para la integridad de los trabajadores, y ser transparentes sobre la información que se recopila. También deben fortalecer la ciberseguridad para prevenir ataques y manipulaciones maliciosas de los dispositivos IIoT. Si los dispositivos son desarrollados internamente, como se mostró en el capítulo anterior, es crucial seguir guías de desarrollo ético en evolución, como SecKit o XACML [50].

Además, si la empresa opera dentro del marco europeo, debe cumplir con la Regulación General de Protección de Datos (GDPR) [39]. Esta ley busca proteger el derecho fundamental de los individuos a controlar sus datos personales. Reconoce la importancia de la tecnología en el contexto socioeconómico, pero subraya que el desarrollo tecnológico debe ser responsable. La GDPR está fundamentada en conceptos éticos comunes en la legislación, como los derechos y libertades de las personas, la dignidad y la justicia, y también incluye requisitos novedosos sobre transparencia y responsabilidades corporativas [51].

6.2 E-Waste

El e-waste son el conjunto de productos electrónicos desechados que han alcanzado el fin de su vida útil por redundancia o avería. Este e-waste contienen sustancias tóxicas que

impactan negativamente en el medioambiente y la salud de las personas. Tal es el problema que la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera el e-waste un problema serio para la economía mundial, los ecosistemas naturales y la salud de las personas. La mayoría del e-waste no se recicla y acaba en vertederos de países en vías de desarrollo donde no es posible reciclarlos adecuadamente, acabando casi el 70 % del e-waste en localizaciones no registradas o son desconocidas [52]. El proceso de reciclaje actualmente expone partículas tóxicas al aire dañando así el medioambiente de dichas regiones y la salud de sus habitantes [53].

El IoT tiene un rol importante en el aumento de la crisis del e-waste tanto por los dispositivos hardware que acaban siendo desechados como los residuos y desechos de elementos que forman parte de la red de Internet en la cual se basa la comunicación del Internet de las Cosas [53]. Esto se agrava con el hecho de que solamente el 25 % del e-waste generado en la Unión Europea se recicla en centros de reciclado oficiales con protección adecuada para sus trabajadores, en el caso de Estados Unidos este porcentaje se reduce a un 20 % [52].

Siguiendo el modelo propuesto en este proyecto, se sugiere la creación de dispositivos de IoT de manera más personalizada. Por ejemplo, en el dispositivo presentado anteriormente, si uno de los sensores falla, se puede reemplazar solo el sensor defectuoso en lugar de reemplazar todo el dispositivo. Sin embargo, es crucial intentar reparar el sensor antes de optar por el reemplazo. Si la reparación no es viable, el sensor debe ser reciclado adecuadamente para evitar su disposición inadecuada. Además, al construir los dispositivos solo con los componentes necesarios, se reduce el uso de materiales, lo que contribuye a minimizar la extracción de recursos y a promover una mayor sostenibilidad.

6.3 Asesoramiento ético

Una forma de formalizar la ética en un proyecto es estableciendo requisitos y objetivos específicos relacionados con la ética. Según los estándares de la Comisión Europea, existen dos tipos de requisitos éticos en los proyectos: los requerimientos durante la preparación y los requerimientos durante el desarrollo del proyecto. Los primeros se refieren al cumplimiento de códigos éticos por parte del proyecto en sí, mientras que los segundos se centran en asegurar que el desarrollo del proyecto se realice de manera ética. Ambos tipos de requisitos deben estar documentados antes de que el proyecto comience.

En la fase inicial de los proyectos, un experto debe determinar si el proyecto requiere asesoramiento ético. Si es necesario, este asesoramiento debe ser proporcionado por un grupo de expertos. Los pasos para recibir asesoramiento ético en un proyecto son los siguientes:

- Auto-asesoramiento ético: Los creadores del proyecto realizan una autoevaluación ética en la fase de preparación. La Comisión Europea ofrece un documento con preguntas de sí o no para evaluar ciertos requisitos éticos [54]. Este documento proporciona información adicional para los expertos en ética.
- Revisión del auto-asesoramiento ético: Un experto en ética revisa el documento completado por los responsables del proyecto. Esta revisión se realiza durante la fase de evaluación del proyecto, antes de su implementación.
- Asesoramiento ético: Si la revisión determina que el proyecto requiere asesoramiento ético, un grupo de expertos en ética debe proponer cambios o soluciones para los problemas éticos identificados. Esto también se lleva a cabo durante la fase de evaluación del proyecto.

- Auditoría ética: Finalmente, en la fase de implementación, un grupo de expertos en ética debe verificar que se cumplen los requisitos éticos y que se han implementado los cambios y soluciones propuestos.

Aunque estos procedimientos son obligatorios solo para ciertos proyectos dentro de la Unión Europea, ofrecen una guía sobre cómo gestionar el control ético en proyectos de despliegue de IIoT.

CAPÍTULO 7

Conclusiones

En este último capítulo, se llevará a cabo una comparación entre los objetivos planteados al inicio del trabajo y los resultados obtenidos. Además, se discutirán los retos enfrentados durante el desarrollo del proyecto, se mencionarán las asignaturas que han apoyado la realización del trabajo, y se evaluarán los ajustes necesarios para futuras aplicaciones del marco. También se explorarán posibles líneas de investigación que podrían surgir a partir de este trabajo.

7.1 Resultados obtenidos

A continuación, se van a exponer los objetivos propuestos al inicio del presente trabajo. Se va a comentar su cumplimiento, en qué medida se han cumplido y que elementos han intervenido en el cumplimiento:

- Investigar y analizar las tecnologías actuales de IoT y OT utilizadas en la industria, identificando sus características, ventajas y desafíos.

Este objetivo se ha conseguido mediante la búsqueda y compilación de bibliografía existente sobre IoT y OT. Además, se han expuesto diferentes teorías, modelos y metodologías relacionados tanto con IoT como con OT. También se han identificado supuestos en los que IoT y OT se usan de forma conjunta para mejorar la producción de la industria de diferentes ámbitos; esto nos ayuda a ver las posibilidades que hay para que esto suceda. Finalmente, se han identificado los desafíos usados en el uso de IoT en OT para tener en cuenta que dificultades se pueden encontrar en este contexto.

- Desarrollar un marco conceptual para la integración efectiva de IoT y OT en entornos industriales, considerando aspectos como la seguridad, la interoperabilidad y la escalabilidad.

Usando la información obtenida en el objetivo anterior, se ha realizado un marco conceptual de 5 fases para la integración de IoT y OT. Principalmente se ha usado la información respecto a las teorías, modelos y metodologías; juntando diferentes formas de implementar IoT en OT o las formas en las que OT funciona. Por lo tanto, se ha conseguido realizar un marco que guíe en todo el proceso de integración, desde el concepto de la compañía hasta el mantenimiento del despliegue.

- Aplicar el marco conceptual a un sector industrial para diseñar una solución específica que demuestre cómo la integración de IoT y OT puede mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones.

La aplicación del marco ha sido completada, pero no se ha implementado en una compañía real. Por lo tanto, el objetivo se ha cumplido parcialmente, ya que no se han obtenido datos reales de su aplicación. Desafortunadamente, no se pudo contar con una compañía real debido a limitaciones de disponibilidad.

- Implementar un prototipo o simulación de la solución propuesta y realizar pruebas para validar su efectividad, eficiencia y seguridad.

Este objetivo también se ha conseguido alcanzar parcialmente, ya que se ha desarrollado tanto un prototipo como una simulación del ecosistema IoT desplegado en AWS pero no se han podido evaluar cuestiones como la eficiencia por falta de recursos.

7.2 Retos

En el desarrollo de este trabajo de fin de máster, se han identificado varios retos significativos que han influido en el alcance y los resultados del proyecto. Estos desafíos abarcan desde la disponibilidad limitada de literatura especializada hasta restricciones prácticas derivadas de la falta de recursos y oportunidades de aplicación industrial. A continuación, se detallan los principales retos enfrentados:

- **Escasa literatura sobre IoT.** La investigación en el ámbito del IoT aún se encuentra en una etapa emergente, lo que implica una limitación significativa en la disponibilidad de fuentes bibliográficas y estudios previos que puedan servir de referencia y apoyo teórico al presente trabajo.
- **Falta de industria en la que aplicar el marco.** La imposibilidad de contar con una empresa colaboradora para la implementación práctica del marco desarrollado ha sido un obstáculo para una demostración real del marco desarrollado. Este impedimento se debe a la participación en el programa de intercambio Erasmus en Suecia durante el periodo académico, lo cual ha restringido el acceso directo a industrias locales que pudieran servir de caso de estudio o implementación práctica.
- **Limitado acceso a recursos.** El desarrollo del proyecto ha enfrentado restricciones significativas en términos de recursos materiales. Aunque se ha logrado adquirir un microcontrolador y un sensor, la ausencia de acceso a equipos fundamentales como una impresora 3D y una máquina para soldar ha limitado la capacidad de prototipado y experimentación, afectando así la realización de pruebas más complejas y detalladas.
- **Limitación por el alcance del proyecto.** Es importante reconocer que, debido a la naturaleza de este trabajo como un proyecto de fin de máster, el alcance ha sido necesariamente restringido por el tiempo disponible. Si bien existe potencial para desarrollar todos los componentes y aspectos del marco teórico y práctico de manera más exhaustiva, las limitaciones temporales inherentes al proyecto han impuesto una necesidad de focalización y priorización de ciertas áreas sobre otras.

7.3 Asignaturas relacionadas

El presente trabajo se ha llevado a cabo gracias a los conocimientos adquiridos en el Máster en Ingeniería Informática de la Universitat Politècnica de València (UPV) durante el primer año, y en la Universidad de Uppsala durante el segundo año, gracias al programa de intercambio académico ERASMUS en Uppsala, Suecia. Este trabajo ha buscado aplicar el conocimiento sobre redes, seguridad y sistemas empotrados, así como la gestión de tecnologías de la información en contextos empresariales.

Por un lado, el análisis e investigación de las tecnologías actuales de IoT, las características de OT, y el desarrollo del marco conceptual se han basado en los conocimientos adquiridos en las asignaturas de Redes y Seguridad, y Gestión y Gobierno de las TI impartidas en la UPV. Estas asignaturas proporcionaron una comprensión de las tecnologías mencionadas y su implementación en empresas existentes, respectivamente.

Por otro lado, la implementación del prototipo se ha apoyado en los conocimientos obtenidos en las asignaturas de Redes y Seguridad, y Sistemas Empotrados y Ubicuos de la UPV, así como en las asignaturas Programming Embedded Systems y Project of Programming Embedded Systems de la Universidad de Uppsala. Las asignaturas de la UPV ofrecieron una introducción a la tecnología IoT, mientras que las asignaturas de la Universidad de Uppsala permitieron profundizar y perfeccionar el conocimiento sobre sistemas empotrados y el uso de sensores, siendo el microcontrolador utilizado en este proyecto el mismo empleado en dichas asignaturas.

Finalmente, la reflexión sobre ética y tratamiento de datos se ha desarrollado con base en los conocimientos aprendidos en la asignatura Data, Ethics and Law impartida en la Universidad de Uppsala durante el primer cuatrimestre de estudios en dicha institución.

7.4 Evaluación y Ajuste del Marco Teórico

A lo largo de este trabajo, se ha desarrollado y ejemplificado un modelo conceptual para la integración de IoT y OT en contextos industriales. No obstante, la evolución de este marco debe ser continua, por lo tanto se van a exponer los diferentes aspectos en los que el marco debe estar en constante evaluación y ajuste una vez aplicado:

- **Revisión de los objetivos:** La principal evaluación del marco debe realizarse en torno al cumplimiento de los objetivos que fueron definidos en la fase inicial. El cumplimiento de los objetivos son un elemento clave para comprobar la efectividad del marco y las áreas en las que el marco tiene que mejorar. Estos indicadores podrían incluir tiempos de respuesta, optimización de recursos, reducción de costos y mejora de la productividad.
- **Flexibilidad en la implementación:** El marco debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes industrias y sectores. Cada compañía tiene contextos socioeconómicos diferentes, así que se debe asegurar que el marco sea suficiente flexible para poder lidiar con las peculiaridades de cada una. Esto podría implicar modificar ciertas herramientas o procesos para ajustarse a los recursos y limitaciones de cada empresa.
- **Personalización de indicadores de éxito:** Los objetivos y métricas de éxito deben ajustarse a las necesidades y características específicas de cada proyecto. Si bien en este trabajo se propusieron algunos indicadores generales, como la reducción de costos y la eficiencia operativa, las futuras aplicaciones del marco deben enfocarse en la personalización de estos objetivos para asegurar su relevancia en contextos específicos.

- **Retroalimentación y revisión continua:** Dado que las necesidades tecnológicas y operacionales cambian constantemente, es necesario que el marco cuente con mecanismos de retroalimentación y revisión continua. Incluir herramientas para recopilar y analizar comentarios de los usuarios permitirá ajustes dinámicos del marco, manteniéndolo relevante y eficaz frente a los cambios en el entorno industrial.
- **Ajuste a la cultura organizacional:** Es importante tener en cuenta que cada organización tiene su propia cultura y procesos internos. Adaptar el marco teórico para alinearse con la cultura organizacional facilitará su aceptación y aplicación.

En conclusión, aunque el marco conceptual pretenda sentar unas mismas bases desde las cuales implementar una implementación de IoT en un contexto de OT, son necesarios ajustes y personalizaciones para diferentes sectores industriales. Además, hay que tener en cuenta las diferentes culturas organizacionales de las empresas ya que el marco no representa una sola forma de hacer un despliegue IoT si no que se adapte el despliegue a las necesidades individuales de cada empresa. Por lo tanto es preciso que haya una retroalimentación continua del marco para que se pueda adaptar a las compañías y al paso del tiempo.

7.5 Futuras líneas de investigación

Como el presente trabajo tiene un rango limitado solo se ha podido presentar el marco y aplicarlo parcialmente a una compañía ficticia, pero se espera poder continuar el presente trabajo en otros ámbitos:

- Se espera poder aplicar el marco teórico a otras empresas agroalimentarias para poder comprobar como de precisa ha sido la estimación y para ver las diferencias en la aplicación del mismo marco en diferentes empresas del mismo sector.
- Por otro lado, el siguiente paso sería llevar a aplicación del marco a otros sectores para poder ver la efectividad de la aplicación del marco en diferentes sectores y las necesidades específicas de cada sector.
- Con la información recogida en los dos puntos anteriores, se pretende poder modificar el marco teórico y quizás crear versiones de este para los diferentes sectores para que se puedan adaptar mejor a las necesidades de estos.
- Finalmente, una vez se tiene una versión del marco ya probada en diferentes sectores, se procedería a crear manuales físicas y digitales del marco teórico y a ofrecer cursos de formación sobre este para que se pueda entender mejor la aplicación del marco y esta ser más efectiva.

Bibliografía

- [1] R. Anandan, G. Suseendran, Souvik Pal, and Noor Zaman. *Industrial internet of things (IIoT) : intelligent analytics for predictive maintenance*. Advances in Learning Analytics for Intelligent Cloud-IoT Systems. Scrivener Publishing, 2022. ISBN 9781119768777.
- [2] Chantal Line Carpentier and Hannah Braun. Agenda 2030 for Sustainable Development: A powerful global framework. *Journal of the International Council for Small Business*, 1(1): 14–23, January 2020. ISSN 2643-7015. doi: 10.1080/26437015.2020.1714356.
- [3] John Brandt. The internet of things has finally arrived: Unfortunately, manufacturers aren't ready, 2015.
- [4] Pradip N Khandwalla. Mass output orientation of operations technology and organizational structure. *Quarterly*, 19:74–97, 1974.
- [5] David J Hickson, D S Pugh, and Diana C Pheysey. Operations technology and organization structure: An empirical reappraisal. *Quarterly*, 14:378–397, 1969.
- [6] Edward J M Colbert and Alexander Kott. *Cyber-security of SCADA and Other Industrial Control Systems*. URL <http://www.springer.com/series/5576>. Only highlights in Chapter 4.
- [7] Ike C Ehie and Michael A Chilton. Understanding the influence of it/ot convergence on the adoption of internet of things (iot) in manufacturing organizations: An empirical investigation. *Computers in Industry*, 115:103166, 2020.
- [8] *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation [electronic resource]*. Springer International Publishing, Cham, 1st ed. 2019. edition, 2019. ISBN 3-030-04203-0. doi: 10.1007/978-3-030-04203-5.
- [9] Priya Suresh, J Vijay Daniel, Velusamy Parthasarathy, and RH Aswathy. A state of the art review on the internet of things (iot) history, technology and fields of deployment. In *2014 International conference on science engineering and management research (ICSEMR)*, pages 1–8. IEEE, 2014.
- [10] Shelby, Zach and Hartke, Klaus. RFC 7452 - architectural considerations in smart object networking. Internet Requests for Comments, March 2015. URL <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>.
- [11] Dave Thaler, Hannes Tschofenig, and Mary Barnes. Architectural considerations in smart object networking. *Tech. no. RFC*, 7452, 2015.
- [12] D. Giusto, A. Iera, G. Morabito, and L. Atzori. *The Internet of Things: 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications*. Springer New York, 2010. ISBN 9781441916747. URL <https://books.google.se/books?id=vUpiSRc0b7AC>.

- [13] Min Xu, Jeanne M David, Suk Hi Kim, et al. The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International journal of financial research*, 9(2):90–95, 2018.
- [14] Minghui Zhang, Fuqun Sun, and Xu Cheng. Architecture of internet of things and its key technology integration based-on rfid. In *2012 Fifth international symposium on computational intelligence and design*, volume 1, pages 294–297. IEEE, 2012.
- [15] Evan Welbourne, Leilani Battle, Garret Cole, Kayla Gould, Kyle Rector, Samuel Raymer, Magdalena Balazinska, and Gaetano Borriello. Building the internet of things using rfid: the rfid ecosystem experience. *IEEE Internet computing*, 13(3):48–55, 2009.
- [16] R. Minerva, A. Biru, and R. Domenico. Towards a definition of the internet of things (iot). 2015.
- [17] Adel Ismail Al-Alawi. Wifi technology: Future market challenges and opportunities. *Journal of computer science*, 2(1):13–18, 2006.
- [18] Understanding the limits of lorawan. *IEEE Communications Magazine*, 55:34–40, 2017. ISSN 01636804. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600613.
- [19] Borja Martinez, Ferran Adelantado, Andrea Bartoli, and Xavier Vilajosana. Exploring the performance boundaries of nb-iot. *IEEE Internet of Things Journal*, 6:5702–5712, 6 2019. ISSN 23274662. doi: 10.1109/JIOT.2019.2904799.
- [20] A survey on lorawan technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions, 1 2022. ISSN 20799292.
- [21] Nitin Mangalvedhe y Amitava Ghosh Rapeepat Ratasuk, Benny Vejlgaard. *NB-IoT System for M2M Communication*. 2016. ISBN 9781467386661.
- [22] Rasmus Suhr Mogensen, Ignacio Rodriguez, Gilberto Berardinelli, Guillermo Pocovi, and Troels Kolding. Empirical iiot data traffic analysis and comparison to 3gpp 5g models. volume 2021-September. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. ISBN 9781665413688. doi: 10.1109/VTC2021-Fall52928.2021.9625319.
- [23] Giampaolo Cuzzo, Sara Cavallero, Francesco Pase, Marco Giordani, Joseph Eichinger, Chiara Buratti, Roberto Verdone, and Michele Zorzi. Enabling urlcc in 5g nr iiot networks: A full-stack end-to-end analysis. pages 333–338. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. ISBN 9781665498715. doi: 10.1109/EuCNC/6GSummit54941.2022.9815750.
- [24] Li Da Xu, Wu He, and Shancang Li. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4):2233–2243, 2014. doi: 10.1109/TII.2014.2300753.
- [25] Hugh Boyes, Bil Hallaq, Joe Cunningham, and Tim Watson. The industrial internet of things (iiot): An analysis framework. *Computers in industry*, 101:1–12, 2018.
- [26] Tyson. Macaulay and Bryan. Singer. *Cybersecurity for industrial control systems : SCADA, DCS, PLC, HMI, and SIS*. CRC Press, Boca Raton, 1st edition edition, 2012. ISBN 1-4665-1611-9.
- [27] Aman Srivastava and Ankita Agarwal. Emerging technology iot and ot: overview, security threats, attacks and countermeasures. *IJERT*, 10(7):86–93, 2021.
- [28] Theodore J Williams. The purdue enterprise reference architecture. *Computers in industry*, 24(2-3):141–158, 1994.

- [29] Gary A. Rathwell and Theodore J. Williams. Use of the purdue enterprise reference architecture and methodology in industry (the fluor daniel example). In *Modelling and Methodologies for Enterprise Integration*, IFIP — The International Federation for Information Processing, pages 12–44. Springer US, Boston, MA. ISBN 9781475758627.
- [30] Hasan Derhamy. *Architectural design principles for industrial Internet of Things*. PhD thesis, Luleå University of Technology, 2018.
- [31] Claudia M. Sosa-Reyna, Edgar Tello-Leal, and David Lara-Alabazares. Methodology for the model-driven development of service oriented iot applications. *Journal of Systems Architecture*, 90:15–22, 2018. ISSN 1383-7621. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2018.08.008>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383762118301875>.
- [32] Harald Sundmaeker, Patrick Guillemin, Peter Friess, Sylvie Woelfflé, et al. Vision and challenges for realising the internet of things. *Cluster of European research projects on the internet of things, European Commission*, 3(3):34–36, 2010.
- [33] Martin Fowler and Kendall Scott. *UML distilled : a brief guide to the standard object modeling language*. Object technology series UML distilled. Addison Wesley Professional, Boston, Mass, second edition. edition, 2000 - 2000.
- [34] Massive internet of things for industrial applications: Addressing wireless iiot connectivity challenges and ecosystem fragmentation. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11: 28–33, 3 2017. ISSN 19324529. doi: 10.1109/MIE.2016.2618724.
- [35] Michele Compare, Piero Baraldi, and Enrico Zio. Challenges to iot-enabled predictive maintenance for industry 4.0. *IEEE Internet of Things Journal*, 7:4585–4597, 5 2020. ISSN 23274662. doi: 10.1109/JIOT.2019.2957029.
- [36] Ipseeta Nanda, Chadalavada Sahithi, Medepalli Swath, Suman Maloji, and Vinod Kumar Shukla. Iiot based smart crop protection and irrigation system. pages 118–125. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 11 2020. ISBN 9781728183787. doi: 10.1109/ITT51279.2020.9320783.
- [37] Ckm Lee. Association for information systems ais electronic library (aisel) development of an industrial internet of things (iiot) based smart robotic warehouse management system, 2018. URL <http://aisel.aisnet.org/confirm2018/43>. This paper talks about implementing an IIoT system with robots that move around in a warehouse. This paper kinda focuses on the pathfinding itself, but as a general idea, it is interesting.
- [38] Shadi Al-Sarawi, Mohammed Anbar, Rosni Abdullah, and Ahmad B. Al Hawari. Internet of things market analysis forecasts, 2020–2030. In *2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)*, pages 449–453, 2020. doi: 10.1109/WorldS450073.2020.9210375.
- [39] Unión Europea. Reglamento general de protección de datos (gdpr), 2018. URL <https://gdpr-info.eu/>.
- [40] A. Torregrosa, E. Ortí, B. Martín, J. Gil, and C. Ortiz. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in spain. *Biosystems Engineering*, 104(1):18–24, 2009. ISSN 1537-5110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.06.005>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511009001858>.
- [41] Aida Vizcaíno Estevan. València: Sustainable Food World Capital. A Social Sciences Vision. *Debats: Revista de cultura, poder i societat*, (6):175–186, 2021. ISSN 2530-3074, 0212-0585.

- [42] Josep Lluís Miralles-Garcia. Challenges and Opportunities in Managing Peri-Urban Agriculture: A Case Study of L'Horta de València, Spain. *International Journal of Environmental Impacts*, 6(3):89–99, September 2023.
- [43] Generalitat Valenciana. Ley 5/2018, de 6 de marzo, de la huerta de valència. https://www.dogv.gva.es/datos/2018/03/12/pdf/2018_2459.pdf, 2018. URL https://www.dogv.gva.es/datos/2018/03/12/pdf/2018_2459.pdf. Publicado en el Diario Oficial de la Generalitat Valenciana (DOGV) el 12 de marzo de 2018.
- [44] Manohar Saryam, Uttar Pradesh, India Jirli, and Basavaprabhu Jirli. Production, processing and marketing related problems faced by orange growers in chhindwara district of madhya pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9:1911–1914, 12 2019. doi: 10.22271/phyto.2020.v9.i1af.10749.
- [45] SMH Technologies. Embedded systems: What programming languages are used in the industry? <https://smh-tech.com/corporate-blog/embedded-systems-what-programming-languages-are-used-in-the-industry/>. Accessed: 2024-08-28.
- [46] Dhairya Parikh. *Raspberry Pi and MQTT essentials : a complete guide to helping you build innovative full-scale prototype projects using Raspberry Pi and MQTT Protocol*. Packt Publishing, Birmingham, UK, 2022. ISBN 1-80323-839-9.
- [47] Niloy Chakraborty, Adrika Mukherjee, and Mayuri Bhadra. Smart gardening: A solution to your gardening issues. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 8(30):e3, Aug. 2022. doi: 10.4108/eetiot.v8i30.384. URL <https://publications.eai.eu/index.php/IoT/article/view/384>.
- [48] Amazon Web Services. Building an agricultural sensor network using iot and amazon documentdb. <https://aws.amazon.com/es/solutions/guidance/building-an-agricultural-sensor-network-using-iot-and-amazon-documentdb/>, 2024. Accessed: 2024-09-06.
- [49] Apache kafka. <https://kafka.apache.org/>. Accessed: 2024-09-06.
- [50] Kaledio Potter and Axel Egon. Privacy and ethical implications of iot data collection and usage, 2023. URL <https://www.researchgate.net/publication/376353118>.
- [51] Hielke Hijmans and Charles Raab. Ethical Dimensions of the GDPR.
- [52] E-waste: A global hazard, 7 2014. ISSN 22149996.
- [53] Batoul Modarress Fathi, Alexander Ansari, and Al Ansari. Threats of internet-of-thing on environmental sustainability by e-waste. *Sustainability (Switzerland)*, 14, 8 2022. ISSN 20711050. doi: 10.3390/su141610161.
- [54] European Commission. *How to complete your ethics self-assessment*, 2019. URL https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/grants_manual/hi/ethics/h2020_hi_ethics-self-assess_en.pdf. Accessed: 2024-08-27.

ANEXO 1: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.	X			
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico. X				
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras. X				
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.		X		
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Reflexión sobre la relación del TFG/TFM con los ODS y con el/los ODS más relacionados.

- *ODS8: Trabajo decente y crecimiento económico*: Este de los objetivos que más altamente relacionado está con el presente trabajo. Con el marco teórico propuesto se podrá colaborar al crecimiento económico de empresas de menor tamaño ya que se podrán ahorrar costes automatizando procesos y realizando un mantenimiento predictivo.
- *ODS9: Industria, innovación e infraestructuras*: Este es otro de los objetivos que más se relaciona con el presente trabajo. Al estar enfocado a un marco conceptual para la implantación de IIoT, se pretende ayudar a los objetivos de la industria 4.0 y llevar la tecnología de una forma más estandarizada a las empresas con procesos industriales.
- *ODS11: Ciudades y comunidades sostenibles*: Este no es un impacto relacionado directamente con el presente trabajo si no con las potenciales futuras líneas de investigación. Si se hace una adaptación del marco teórico presentado al concepto de *smart cities* se podría conseguir que las ciudades automatizaran procesos y optimizaran recursos.
- *ODS12: Producción y consumo responsables*: Este objetivo también está relacionado en cierta manera con el presente trabajo. Si la aplicación del marco teórico consigue optimizar procesos estos pueden hacer que en la producción se optimicen recursos y que sea más sostenible la producción.