



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Politécnica Superior de Gandia

Diseño de un sistema de monitorización y control de datos del entorno a través de nodos LORA accesibles desde una APP del teléfono móvil

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen

AUTOR/A: Pereto Soler, Carla

Tutor/a: Part Escriva, María Consuelo

Cotutor/a: Sendra Compte, Sandra

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

# AGRADECIMIENTOS

Quisiera aprovechar esta oportunidad para agradecer a María Consuelo Part Escrivà y Sandra Sendra Compte, tutora y cotutora de este Trabajo de Fin de Grado, por la ayuda y consejos que he recibido para la realización de este proyecto.

También a todos los profesores y profesoras que han influido en mi formación durante estos cuatro años, por impartirme los conocimientos que ahora poseo y por contribuir de manera fundamental que haya alcanzado esta meta.

A mi familia por su apoyo incondicional y su preocupación mostrada durante todo mi periodo de estudio. Sobre todo, a mis padres por hacer posible que pudiese estudiar esta carrera y por la comprensión, paciencia y cariño que me han mostrado siempre. Gracias por ayudarme incluso en los momentos más difíciles.

Por último, agradezco a mis amigos y amigas por su compañía desde un principio hasta el final. Por haber hecho este camino juntos, por todo lo vivido y los buenos recuerdos.

Carla Peretó Soler

Universidad Politécnica de Valencia (EPSG)



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# ÍNDICE

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS.....	1
ÍNDICE.....	2
TABLA DE ILUSTRACIONES.....	4
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	8
1.1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	8
2. FUNDAMENTOS.....	9
2.1. LoRa Y LoRaWAN.....	9
2.1.1. LoRa.....	9
2.1.2. LoRaWAN.....	9
2.1.3. DIFERENCIAS ENTRE LoRa Y LoRaWAN.....	9
2.1.4. VENTAJAS DESTACADAS.....	10
2.1.5. APLICACIONES.....	10
2.1.6. DESPLIEGUE DE RED.....	12
2.1.7. ARQUITECTURA DE RED.....	12
2.1.8. CLASES DE DISPOSITIVOS.....	13
2.1.9. SEGURIDAD.....	15
2.1.10. FACTORES IMPORTANTES.....	17
2.2. BLUETOOTH.....	18
2.2.1. PROTOCOLO BLUETOOTH.....	19
2.3. SENSORES.....	20
2.3.1. SENSORES CON LoRaWAN.....	21
3. ESTADO DEL MERCADO.....	21
3.1. FABRICANTES.....	21
3.1.1. FABRICANTES LoRaWAN.....	21
3.1.2. FABRICANTES DE SENSORES.....	23
3.2. TRABAJOS RELACIONADOS.....	23
4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.....	25
5. ELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE DESARROLLO PARA LA APLICACIÓN.....	27
6. PRIMERA PRUEBA.....	28
6.1. DISPOSITIVOS UTILIZADOS.....	28
6.2. DISEÑO.....	29

6.3. PRUEBAS.....	32
7. PRUEBAS Y VALIDACIÓN .....	35
7.1. DISPOSITIVOS .....	35
7.2. CAMBIOS REALIZADOS RESPECTO A LA PRIMERA PRUEBA.....	39
7.3. DISEÑO .....	39
7.4. PRUEBA.....	43
8. PRESUPUESTO .....	46
9. DIAGRAMA DE GANTT .....	46
10. CONCLUSIONES .....	46
11.ODS (Objetivos de desarrollo sostenible).....	47
12. REFERENCIAS.....	48

# TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 -Conceptos básicos para entender que es LoRa y LoRaWAN [1].	10
Ilustración 2 - Casos de aplicaciones para LoRaWAN [3].	11
Ilustración 3 - Ejemplo de despliegue de red.	12
Ilustración 4 - Arquitectura de red LoRaWAN [4].	12
Ilustración 5 - Gráfica con las principales descripciones de cada clase [5].	13
Ilustración 6 - Esquema de recepción de datos Clase A [5].	13
Ilustración 7 - Esquema de recepción de datos Clase B [5].	14
Ilustración 8 - Esquema de recepción de datos Clase C [5].	14
Ilustración 9 - Conexión OTAA [6].	15
Ilustración 10 - Conexión ABP [6].	16
Ilustración 11 - Gráfica de comparación entre el consumo de energía y la distancia de comunicación [5].	17
Ilustración 12 - Esquema complejo que contempla la comunicación entre dispositivos, Gateways y el servidor a diferentes niveles [5].	18
Ilustración 13 - Capas de la pila de protocolos Bluetooth [7].	19
Ilustración 14 - Pantalla de inicio.	25
Ilustración 15 - Fragmento Bluetooth.	26
Ilustración 16 - Fragmento Información del sensor.	26
Ilustración 17 - Fragmento Configuración.	27
Ilustración 18 - Dispositivo TTGO EPS32 (parte frontal).	29
Ilustración 19 - Dispositivo TTGO (parte trasera).	29
Ilustración 20 - Fragmento Bluetooth.	30
Ilustración 21 - Diagrama de funciones de la clase BluetoothConnection.	30
Ilustración 22 - Fragmento Información del sensor.	31
Ilustración 23 - Fragmento Configuración.	32
Ilustración 24 - Fragmento Bluetooth.	33
Ilustración 25 - Mensaje que verifica que la conexión Bluetooth se ha establecido correctamente.	33
Ilustración 26 - Verificación con el mensaje "CARLA" en la consola del sensor.	33
Ilustración 27 - Fragmento Información del sensor.	34
Ilustración 28 - Fragmento Configuración antes de cambiar la configuración.	34
Ilustración 29 - Fragmento Configuración después de cambiar la configuración.	35
Ilustración 30 - Módulo HELTEC Wi-Fi LoRa 32 (v2).	35
Ilustración 31 - Sensor de temperatura DHT22.	36
Ilustración 32 - Módulo MicroSD Card Adapter.	37
Ilustración 33 - Módulo reloj RTC DS1307.	38
Ilustración 34 - Circuito real final.	38
Ilustración 35 - Diagrama de bloques del Login.	39
Ilustración 36 - Menú después del Login.	39
Ilustración 37 - Diagrama de bloques del fragmento Bluetooth.	40
Ilustración 38 - Fragmento información del sensor.	41
Ilustración 39 - Calendario que se inicia al pulsar el botón "ESCOJER FECHA".	41
Ilustración 40 - Diagrama de bloques del fragmento de Información del sensor.	41
Ilustración 41 - Diagrama de bloques del fragmento de Configuración de horas.	42
Ilustración 42 - Sección para conexiones MQTT.	43
Ilustración 43 - Menú que aparece al pulsar sobre el botón "CONNECT WITH ANOTHER SERVER".	43
Ilustración 44 - Carpetas de la microSD donde se guardan los datos medidos por el sensor.	44
Ilustración 45 - Datos de temperatura guardados en diferentes archivos de texto según el día en el que se han tomado.	44

Ilustración 46 - Captura de verificación para la extracción de datos de la microSD. ....	44
Ilustración 47 - Captura de verificación para las horas de configuración.....	45
Ilustración 48 - Captura de verificación para el cambio de horas de configuración. ....	45
Ilustración 49 - Diagrama de Gantt. ....	46

## RESUMEN

Este trabajo presenta una aplicación desarrollada con Android Studio, la cual tiene como objetivo establecer una conexión vía Bluetooth con sensores basados en nodos LoRa. Estos sensores están diseñados para capturar muestras de temperatura y humedad a distintas horas del día. El propósito principal de la aplicación es facilitar al usuario la extracción de datos recopilados por los sensores.

Además, la aplicación cuenta con una sección de configuración que permite al usuario personalizar el número de muestras diarias y seleccionar las horas específicas en las que se desea que el sensor realice dichas mediciones. Esta característica ofrece flexibilidad y control al usuario sobre el proceso de recolección de datos, adaptándose a sus necesidades y preferencias.

El sistema de sensores LoRa (Longe Range) utilizados en esta aplicación ofrece una solución eficiente y confiable para monitorizar varios tipos de datos meteorológicos, como la temperatura y la humedad, durante el día, lo que resulta de gran utilidad en diversos ámbitos, como la agricultura y, en general, siempre que se precise recoger datos a través de nodos LoRa, adaptando la aplicación. Esta combinación de tecnologías facilita la obtención de datos precisos y en tiempo real, permitiendo a los usuarios tomar decisiones al momento en base a la información recopilada.

En conclusión, esta aplicación representa un avance significativo en la captura y gestión de datos mediante sensores LoRa, ofreciendo una herramienta práctica y versátil que puede ser aplicada en diversos campos de estudio e industrias, contribuyendo así al desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras y eficientes.

Palabras clave: LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), LoRa (Long-Range), IoT (Internet of Things), Bluetooth, Android Studio.

## ABSTRACT

This work presents an application developed with Android Studio, which aims to establish a Bluetooth connection with sensors based on LoRa nodes. These sensors are designed to capture temperature, humidity, and air quality samples at different times of the day. The main purpose of the application is to facilitate the user in extracting data collected by the sensors.

Additionally, the application features a configuration section that allows the user to customize the number of daily samples and select specific hours for the sensor to perform these measurements. This feature offers flexibility and control to the user over the data collection process, adapting to their needs and preferences.

The LoRa sensor system used in this application provides an efficient and reliable solution for monitoring various types of meteorological data, such as temperature and humidity, throughout the day. This is particularly useful in various fields, including agriculture, and in general, whenever it is necessary to collect data through LoRa nodes by adapting the application. This combination of technologies facilitates the acquisition of accurate and real-time data, enabling users to make informed decisions on the spot based on the collected information.

In conclusion, this application represents a significant advancement in data capture and management through LoRa sensors, providing a practical and versatile tool that can be applied in various fields of study and industries. It contributes to the development of innovative and efficient technological solutions.

Keywords: LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), LoRa (Long-Range), IoT (Internet of Things), Bluetooth, Android Studio.

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

## 1.1. INTRODUCCIÓN

En el actual entorno tecnológico en constante evolución, los sensores LoRaWAN han emergido como componentes cruciales y disruptivos que han revolucionado la forma en que se aborda la interconexión y recopilación de datos en el IoT. En un mundo cada vez más interconectado, la capacidad de obtener información en tiempo real proveniente de una variedad de fuentes se ha convertido en una herramienta vital para optimizar procesos, tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia en diversos sectores industriales.

La tecnología LoRaWAN se presenta como un elemento diferenciador en este panorama, permitiendo la transmisión de datos a largas distancias con un consumo mínimo de energía. Esto, junto con su inherente resistencia a las interferencias, ha allanado el camino para una amplia gama de aplicaciones en las que la conectividad de largo alcance y la conservación de la vida útil de la batería son esenciales. Desde la monitorización agrícola hasta la gestión de recursos en ciudades inteligentes, pasando por el seguimiento de activos en tiempo real, los sensores LoRaWAN han demostrado su versatilidad en la generación de datos valiosos.

En el contexto de la creciente demanda de información precisa y en tiempo real, los sensores LoRaWAN se destacan por su capacidad para recopilar datos de manera efectiva en entornos diversos y a menudo desafiantes. Su habilidad para funcionar de manera confiable incluso en áreas de difícil acceso, como entornos rurales o industriales, ha consolidado su estatus como una herramienta esencial para recopilar datos que anteriormente eran difíciles de obtener.

Más allá de la recopilación de datos, los sensores LoRaWAN han desempeñado un papel fundamental en la transformación digital de las operaciones comerciales y la toma de decisiones. Mediante la generación de información procesable, han permitido a las organizaciones optimizar operaciones, reducir costos y mejorar la calidad de los productos y servicios. La posibilidad de obtener datos en tiempo real ha dado paso a una mayor automatización y a la capacidad de tomar decisiones basadas en información precisa, lo que, a su vez, ha impulsado la innovación y la mejora continua en diversos sectores.

En resumen, los sensores LoRaWAN han revolucionado la forma en que concebimos y aprovechamos la información en la era de la IoT. Su capacidad para proporcionar conectividad de largo alcance, baja potencia y confiabilidad en la recopilación de datos ha influido en la forma en que se abordan los desafíos tecnológicos actuales. A medida que continuamos explorando nuevos horizontes en la era digital, los sensores LoRaWAN se mantienen como un pilar fundamental que sustenta la innovación, la eficiencia y la toma de decisiones informadas en diversos campos.

## 1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal de esta aplicación consiste en simplificar la extracción de datos provenientes de sensores con nodos LoRa, y su configuración evitando tener que usar un ordenador para poder cambiar el código de configuración ofreciendo una alternativa que agiliza y facilita el proceso. La aplicación está diseñada para satisfacer las necesidades de empresas que emplean sensores equipados con tecnología LoRa.

En este TFG se monitorizan datos meteorológicos registrados por los sensores LoRa en diferentes momentos del día, lo que permite la obtención de estadísticas precisas sobre las condiciones meteorológicas actuales. El enfoque de la aplicación se centra en optimizar, mediante el desarrollo de una app, la eficiencia de la obtención de datos en contextos empresariales y de investigación, especialmente cuando se emplea la tecnología LoRa para la recopilación de información de sensores.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Diseñar una interfaz de usuario intuitiva que facilite la configuración de los sensores LoRa y la visualización de los datos de temperatura recopilados.
2. Implementar la funcionalidad de conexión Bluetooth entre la aplicación y los sensores para permitir una gestión remota y una comunicación efectiva.
3. Permitir la programación de las tomas de datos meteorológicos, lo que posibilitará a los usuarios configurar la frecuencia y los horarios de las mediciones.
4. Aprovechar la capacidad de almacenamiento de la tarjeta SD integrada en los sensores para almacenar los datos meteorológicos y habilitar su extracción a través de la aplicación.

## 2. FUNDAMENTOS

Hoy en día las tecnologías se encuentran en casi todas partes del mundo, hasta en sitios donde nunca nos hubiésemos podido imaginar que la tecnología podría ayudar a crear avances.

### 2.1. LoRa Y LoRaWAN

#### 2.1.1. LoRa

LoRa es una abreviatura de “Long Range” (largo alcance, en español), y se refiere a una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para transmitir datos a larga distancia con un consumo de energía relativamente bajo. Tiene un ancho de banda más bajo que otras tecnologías inalámbricas, es más versátil y menos costosa. Fue desarrollada por la empresa Cycleo en Francia, y más tarde fue adquirida por Semtech en 2012. A partir de ahí, se ha vuelto popular en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de monitorización remoto.

Para su funcionamiento utiliza la tecnología de espectro ensanchado de chirp (CSS) y se ejecuta sobre el protocolo de red LoRaWAN. Transmite pequeños paquetes de datos codificados a largas distancias con interferencia mínima utilizando chirps de frecuencia con una variación lineal de frecuencia.

*Una investigación afirma que, con esta tecnología, la compensación de frecuencia entre el transmisor y el receptor puede alcanzar el 20% del ancho de banda sin afectar el rendimiento de la decodificación.*

#### 2.1.2. LoRaWAN

LoRaWAN es un protocolo de red diseñado para trabajar en conjunto con la tecnología LoRa. Permite conectar dispositivos de IoT de bajo consumo de energía a una red de larga distancia, lo que facilita la transmisión de datos desde y hacia estos dispositivos en áreas amplias. Crea la capa de red en la que operan los dispositivos LoRa y es una señal portadora de radiofrecuencia basada en la capa física (PHY) que convierte los datos recibidos en señales.

#### 2.1.3. DIFERENCIAS ENTRE LoRa Y LoRaWAN

La diferencia principal entre LoRa y LoRaWAN radica en su enfoque y funcionalidad como podemos observar en la Ilustración 1:

1. LoRa (tecnología física): LoRa se refiere a la tecnología de modulación y comunicación inalámbrica subyacente. Utiliza una técnica de modulación especial para permitir transmisiones de larga distancia y una buena penetración de señal en entornos urbanos y rurales. LoRa se centra en la transmisión eficiente de datos a largas distancias con un bajo consumo de energía [1].
2. LoRaWAN (protocolo de red): LoRaWAN es un protocolo de comunicación que opera en la parte superior de la tecnología LoRa. Proporciona la infraestructura necesaria para conectar dispositivos LoRa a través de una red de área amplia. LoRaWAN se encarga de gestionar la comunicación bidireccional entre los dispositivos de IoT y las estaciones base, además de manejar aspectos como la seguridad, la gestión de la red y la eficiencia del tráfico [1].

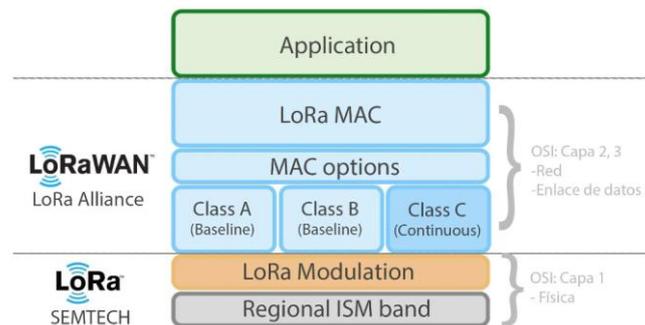


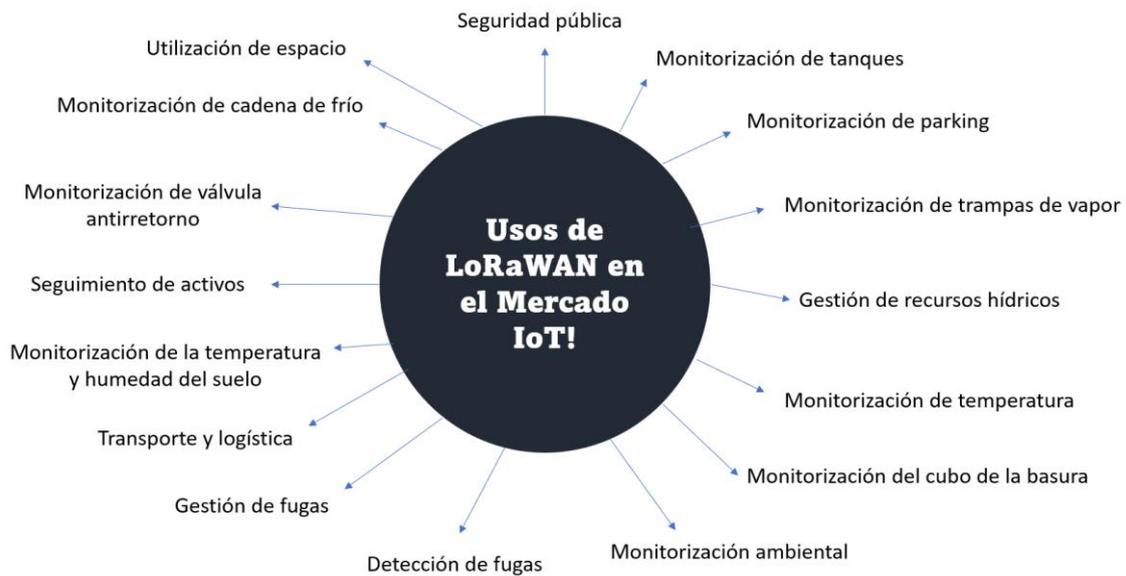
Ilustración 1 -Conceptos básicos para entender que es LoRa y LoRaWAN [1].

#### 2.1.4. VENTAJAS DESTACADAS

1. Posee un alcance extenso al conectar dispositivos a distancias de hasta 30 millas (48,2803 km).
2. La duración de la batería alcanza hasta 10 años gracias a su mínimo consumo de energía.
3. Asegura la información mediante un cifrado AES128 de extremo a extremo, autenticación mutua y confidencialidad.
4. Facilita la implementación de aplicaciones de rastreo sin GPS, brindando ventajas distintivas de bajo consumo.
5. Mantiene la comunicación con dispositivos en movimiento sin sobrecargar el consumo de energía.
6. Presenta una alta capacidad al admitir millones de mensajes por estación base.
7. Reduce la inversión en infraestructura, costos de reemplazo de baterías y gastos operativos [2].

#### 2.1.5. APLICACIONES

LoRa y LoRaWAN son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones de IoT, como seguimiento y monitorización remoto, gestión de activos, etc. Debido a su capacidad de largo alcance y bajo consumo de energía, son ideales para conectar dispositivos que necesitan funcionar durante largos períodos sin la necesidad de cambiar las baterías frecuentemente [3]. Los casos de uso que hay de LoRaWAN son los siguientes:



*Ilustración 2 - Casos de aplicaciones para LoRaWAN [3].*

- Seguimiento de activos.
- Supervisión de dispositivos antirretorno.
- Monitorización de la cadena de frío.
- Monitorización de temperatura y humedad del suelo.
- Detección de fugas.
- Logística y transporte.
- Monitorización de estacionamientos.
- Manejo de plagas.
- Monitorización ambiental.
- Seguridad pública.
- Utilización del espacio.
- Supervisión de trampas de vapor.
- Monitorización de tanques.
- Monitorización de temperatura.
- Gestión de recursos hídricos.
- Monitorización de botes de basura.

### 2.1.6. DESPLIEGUE DE RED

En este apartado se muestra un ejemplo de cómo sería el despliegue de red planteado para este proyecto.

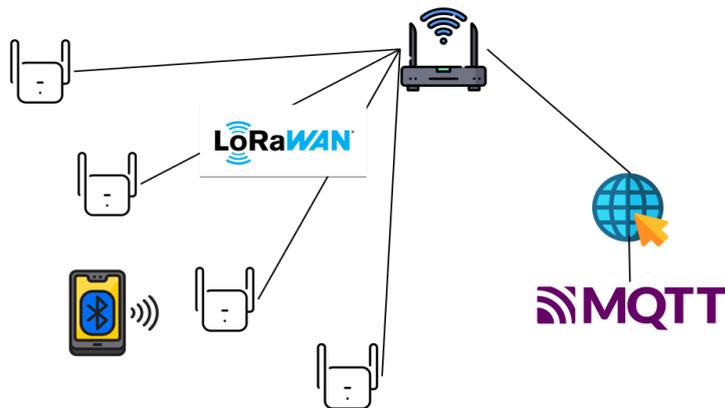


Ilustración 3 - Ejemplo de despliegue de red.

Como podemos observar en la Ilustración 3, la red está formada principalmente por los módulos Heltec, un dispositivo móvil para la aplicación y un gateway que nos ofrecerá la conexión a Internet y a los servidores.

### 2.1.7. ARQUITECTURA DE RED

La arquitectura de una red LoRaWAN sigue el siguiente esquema:

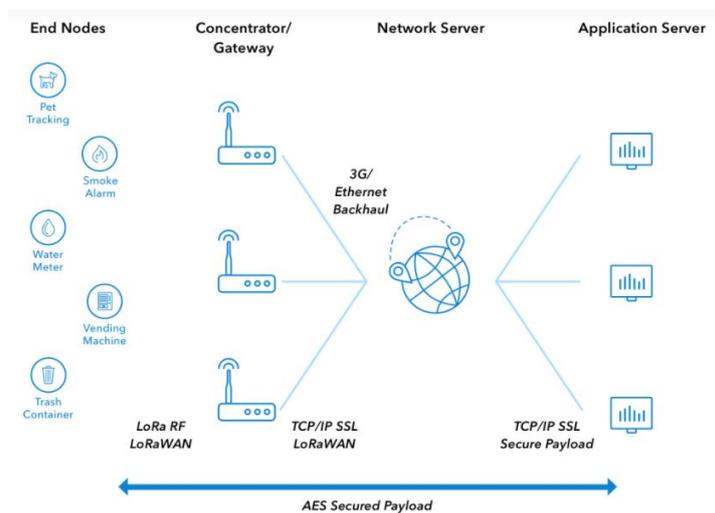


Ilustración 4 - Arquitectura de red LoRaWAN [4].

Como podemos observar en la Ilustración 4, la arquitectura de una red LoRaWAN consta de:

- Nodo/Dispositivos finales, son elementos que transfieren la información usando ondas de radio de bajo consumo.
- Gateway o concentrador. Son las antenas que reciben la información de los nodos y la reenvía al servidor vía comunicación TCP/IP.
- Servidor de red para enviar los mensajes a una aplicación final por medio de una API.

- Y una aplicación, que es el software a través el cual el usuario obtiene la información.

Dado que los nodos solo se comunican con el Gateway y no entre sí, podemos clasificar la topología de esta red como una topología en estrella, donde el Gateway actúa como el nodo coordinador principal. Esta configuración es más simple en comparación con una topología de malla y presenta ventajas significantes en cuanto a la eficiencia energética. En este caso, los nodos no desempeñan el papel de repetidores, a diferencia de una topología de malla en la que sí lo hacen, lo que conlleva un mayor consumo de energía.

### 2.1.8. CLASES DE DISPOSITIVOS

En lo que respecta a los dispositivos finales o nodos en este tipo de comunicación, se pueden categorizar en tres clases:

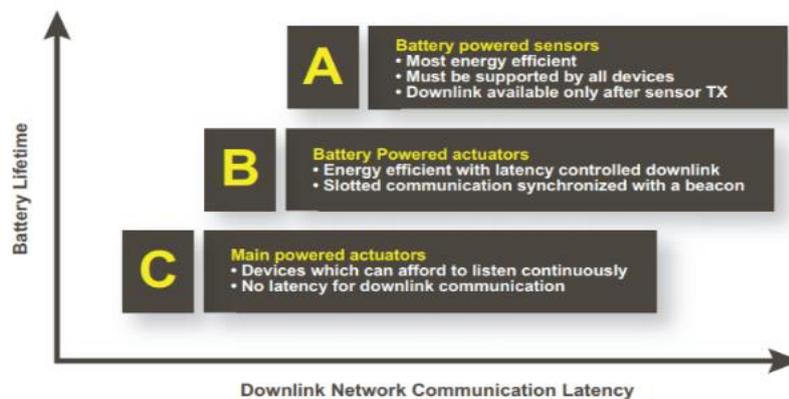


Ilustración 5 - Gráfica con las principales descripciones de cada clase [5].

1. **Clase A:** Los dispositivos permiten una comunicación bidireccional entre el Gateway y el nodo. Los mensajes ascendentes (del nodo al servidor) pueden enviarse en cualquier momento, pero solo pueden recibir mensajes descendentes (del servidor al nodo) en ventanas específicas que abre el nodo 1 segundo y 2 segundos después de haber enviado el mensaje. La ranura de transmisión es determinada por el dispositivo final de acuerdo con sus requerimientos de comunicación, con una pequeña variación siguiendo un protocolo de tiempo aleatorio al estilo ALOHA. Esta categoría se caracteriza por tener el menor consumo de energía y es ideal para aplicaciones que requieran una comunicación breve con el servidor después de cada transmisión.

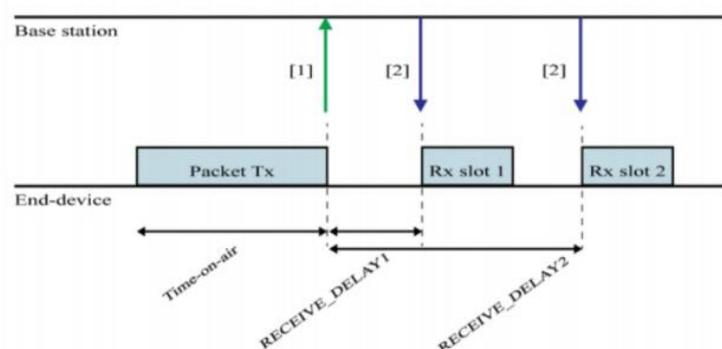


Ilustración 6 - Esquema de recepción de datos Clase A [5].

- Clase B:** En esta clase, además de utilizar una ventana de recepción aleatoria como en la Clase A, se incorpora una ventana adicional programada en intervalos específicos al dispositivo. Para activar esta ventana de recepción, el dispositivo final debe recibir un *Beacon* (imagen gráfica semi transparente) sincronizado emitido por la puerta de enlace, lo que permite al servidor determinar cuándo el dispositivo está escuchando. Esta configuración es útil para actuadores a batería que pueden responder de manera determinada a la recepción de un mensaje.

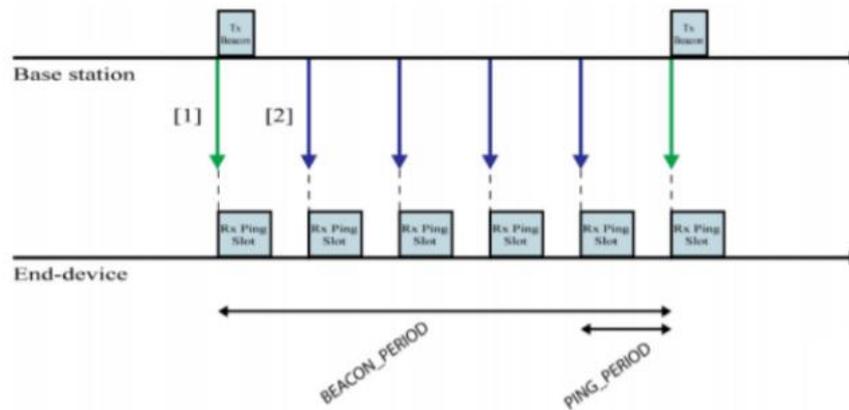


Ilustración 7 - Esquema de recepción de datos Clase B [5].

- Clase C:** Los dispositivos de esta clase mantienen casi de manera constante una ventana de recepción abierta, la cual solo se cierra durante la transmisión. Aunque los dispositivos de esta clase consumen más energía en comparación con las otras clases, proporcionan la menor latencia posible en la comunicación entre el servidor y el dispositivo final. Se utiliza con aplicaciones alimentadas con energía de red.

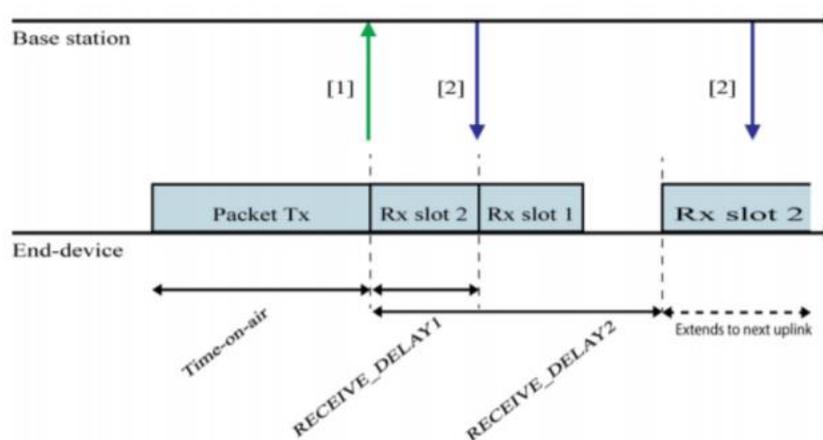


Ilustración 8 - Esquema de recepción de datos Clase C [5].

### 2.1.9. SEGURIDAD

Para lograr conectarse a una red LoRaWAN se requieren una serie de claves y número de identificación por parte del nodo para lograr el correcto funcionamiento de la red y mantener la seguridad. Los nodos pueden unirse a la red LoRaWAN mediante dos métodos diferentes:

- OTTA (Over-The-Air Activation)

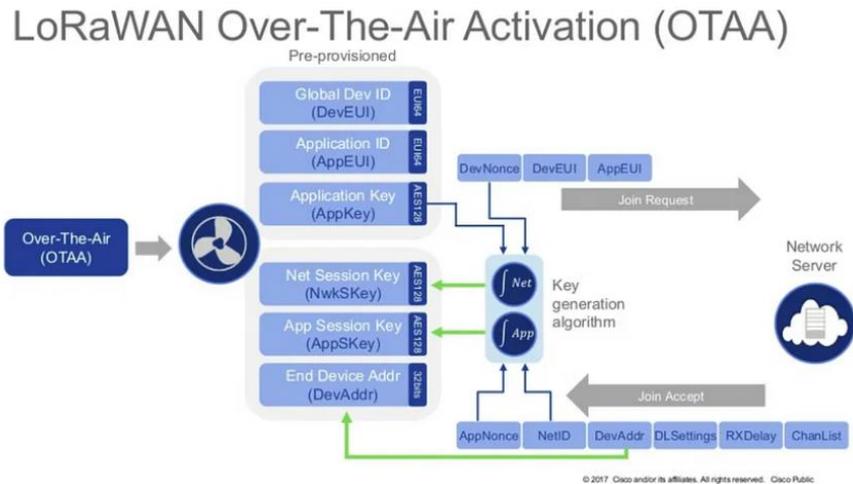


Ilustración 9 - Conexión OTAA [6].

El modo OTAA es la manera más segura de conectarse a la red, las claves de cifrado se negocian entre el nodo y el servidor durante el proceso de conexión. Los parámetros de configuración son:

- DevEUI: Identificador de fábrica que hace a cada dispositivo único. Es ajustable en algunos dispositivos.
- AppEUI: Identificador único de la aplicación. Consta de 64 bits y se utiliza para clasificar los dispositivos por aplicación. Esta configuración es ajustable.
- AppKey: Clave de seguridad AES de 128 bits entre el nodo y la red. Es ajustable y sirve para determinar las claves de sesión.

La conexión OTAA se realiza de la siguiente manera:

1. El nodo inicia una solicitud de conexión a la red, conocida como "join" o inicio de sesión, proporcionando los datos de configuración necesarios y abre la ventana de recepción.
2. El Gateway recibe la solicitud y la transmite al servidor.
3. El servidor verifica que el nodo esté registrado y la llave de encriptación sea correcta.
4. Si la información es verificada con éxito, se asigna una sesión temporal que se envía a través del Gateway de vuelta al nodo. En caso de que los datos no coincidan o sean incorrectos, se rechaza la solicitud de inicio de sesión.
5. El nodo, al recibir la sesión temporal, obtiene la capacidad de enviar datos a la red.

La principal ventaja de la conexión OTAA es su alto nivel de seguridad. Esto se debe a que la sesión se genera de manera dinámica y se renueva cada vez que el dispositivo pierde la conexión, se apaga o se reinicia. Este enfoque dificulta considerablemente cualquier intento de robo de sesión o clonación del dispositivo.

- ABP (Activation-By-Personalitation)

## LoRaWAN Activation-By-Personalisation (ABP)

ABP pre-provisions keys and device address  
Join procedure is bypassed

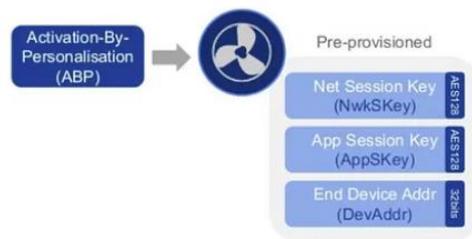


Ilustración 10 - Conexión ABP [6].

El modo ABP es el modo más sencillo de conexión. Las claves de cifrado para conectarse son previamente cargadas en los dispositivos, por lo que se acelera la conexión, pero se aumentan los riesgos. Los parámetros de conexión son:

- DevAddress: Dirección lógica que se usará para la comunicación posterior con la red.
- NetworkSessionKey: Clave de seguridad entre el nodo y el servidor que se utiliza para las transmisiones y para validar la integridad de los mensajes.
- ApplicationSessionKey: Misma clave que NetworkSessionKey pero a través de la aplicación.

Con estos parámetros, la conexión ABP se establece de la siguiente manera:

1. El dispositivo envía datos al Gateway.
2. El Gateway verifica que los datos coincidan con la sesión.
3. Si la sesión es válida, se procesan los datos, y si no, se rechaza el inicio de sesión.

La ventaja de este tipo de conexión es que no es necesario realizar una conexión a la red para enviar datos, ya que la sesión está previamente asignada de forma manual. Además, no se requiere confirmación desde el lado del servidor. Esto hace que sea adecuado para dispositivos en movimiento o aquellos con una recepción deficiente. Por otro lado, la desventaja radica en que la clave de encriptación se encuentra en el dispositivo y podría ser extraída y clonada por un atacante.

## 2.1.10. FACTORES IMPORTANTES

### 2.1.10.1. CONSUMO DE ENERGÍA

Los nodos en una red LoRaWAN establecen comunicación con los Gateways cuando disponen de datos para transmitir, esperando, a su vez, recibir información del servidor en momentos específicos según la clase de dispositivo. Este enfoque de protocolo se asemeja al método conocido como “Aloha”.

En contraste, en una red de malla (mesh) o en una red síncrona, como las redes celulares, los nodos deben “despertar” periódicamente para sincronizarse con la red y comprobar si hay mensajes. Esta sincronización conlleva un alto consumo de energía y es la principal razón detrás de la reducción de la vida útil de las baterías.

Sin embargo, el stack completo de LoRaWAN incorpora diversas técnicas destinadas a minimizar el consumo de energía. Por defecto, los nodos finales pueden ser configurados por el servidor para adaptar dinámicamente la velocidad de transmisión de datos, un concepto conocido como “Adaptive Data Rate”. Esta configuración permite que los dispositivos se comuniquen con la red utilizando la menor cantidad de energía posible. Además, las ventanas de recepción programadas, especialmente útiles para las clases A y B de dispositivos con alimentación a batería, contribuyen a un consumo mínimo de energía que puede ajustarse según las necesidades de cada solución, prolongando considerablemente la vida útil de las baterías.

Este enfoque permite que dispositivos alimentados con baterías, como las baterías tipo 18650 o pilas de botón, puedan mantenerse en funcionamiento durante años sin necesidad de reemplazo. Esto resulta especialmente valioso cuando se deben implementar aplicaciones en ubicaciones remotas de difícil acceso.

El gráfico siguiente muestra una comparativa entre el consumo de energía y la distancia de comunicación, evaluando diferentes tecnologías inalámbricas. Se destaca que LoRaWAN mantiene un consumo sumamente bajo mientras alcanza distancias significativas.

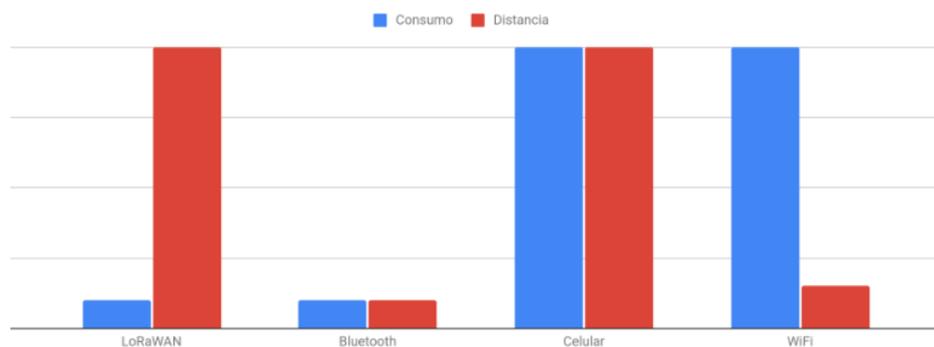


Ilustración 11 - Gráfica de comparación entre el consumo de energía y la distancia de comunicación [5].

### 2.1.10.2. CAPACIDAD DE RED

Para que la topología en estrella de LoRaWAN sea escalable, es fundamental que los Gateways tengan la capacidad de gestionar un gran número de nodos al enviar y recibir mensajes. Esta capacidad se logra mediante la adecuada configuración de la Tasa de Datos Adaptativa (ADR) y el uso de transceptores multicanal en los Gateways, lo que les permite recibir mensajes en múltiples canales simultáneamente. Los factores críticos que determinan la capacidad de la red incluyen el número de canales concurrentes, la velocidad de transmisión de datos (time over the air), la longitud de los mensajes y la frecuencia con la que los nodos transmiten.

Los Gateways están diseñados para recibir mensajes a diversas velocidades de datos, en diferentes canales, e incluso en el mismo canal al mismo tiempo. Si un nodo tiene un buen enlace y está cerca de un Gateway, no hay razón para que siempre utilice la velocidad de datos más baja, ya que esto ocuparía el canal – espectro radioeléctrico -durante más tiempo del necesario. Aumentar la velocidad de datos reduce el tiempo en el aire, permitiendo que el canal de comunicación quede libre durante más tiempo para que otros nodos potenciales puedan transmitir.

Las soluciones LoRaWAN pueden implementarse inicialmente con una infraestructura mínima y, a medida que se requiera más capacidad, es posible agregar más Gateways, aumentar las velocidades de datos, reducir la carga en los Gateways y mejorar la disponibilidad general de la red. La figura adjunta muestra un esquema complejo que ilustra la comunicación entre dispositivos, Gateways y el servidor a diferentes niveles. Lo esencial es comprender que puedes establecer una red con tan solo un nodo, un Gateway y el servidor, y luego expandir y mejorar la infraestructura según tus necesidades particulares en diferentes ubicaciones.

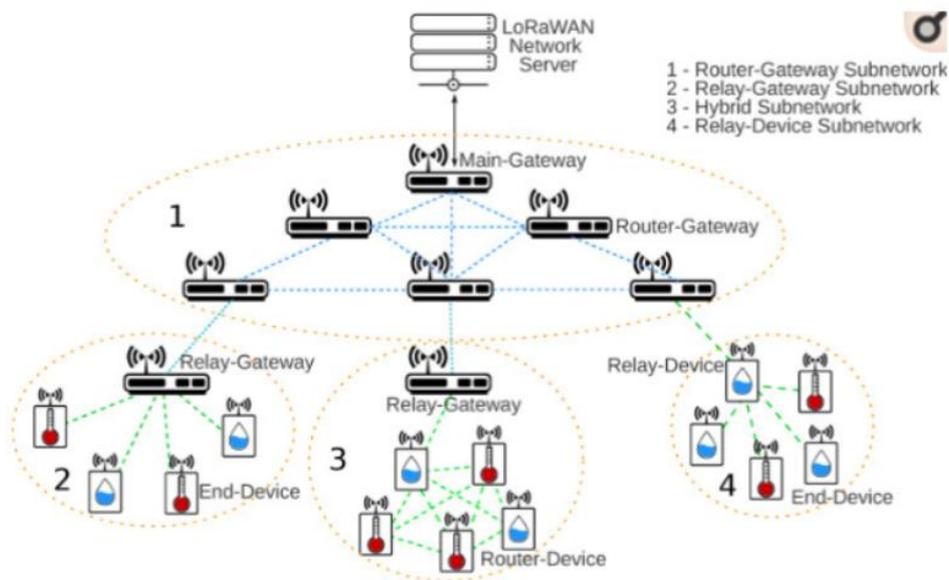


Ilustración 12 - Esquema complejo que contempla la comunicación entre dispositivos, Gateways y el servidor a diferentes niveles [5].

Otras tecnologías LPWAN (Low Power Wide Area Network) no pueden igualar la escalabilidad de LoRaWAN debido a restricciones tecnológicas que afectan la capacidad de la comunicación en sentido descendente o crean asimetrías entre el alcance de la comunicación en sentido descendente y el alcance en sentido ascendente.

## 2.2. BLUETOOTH

El término “Bluetooth” se refiere a una tecnología de red desarrollada por el grupo de trabajo IEEE 802.15.1 (Institute of Electrical and Electronic Engineers) de Estados Unidos como estándar industrial para conexiones inalámbricas. Bluetooth establece un estándar global que abarca tanto el hardware como el software para la comunicación inalámbrica y permite la transferencia de datos y voz entre diferentes equipos a través de conexiones de radiofrecuencia a corta distancia. Esta tecnología opera en la banda 2,4 GHz y uno de sus principales propósitos es

sustituir o reducir la necesidad de utilizar una gran cantidad de cables y conectores para enlazar dispositivos entre sí.

Además, Bluetooth tiene como objetivo facilitar la interacción y sincronización de diversos dispositivos, ya sean móviles o fijos, sin requerir una línea de transmisión directa entre ellos. También persigue la creación de una tecnología de bajo consumo de energía, lo que posibilita la producción de dispositivos asequibles para una amplia gama de aplicaciones. Aunque en comparación con otras tecnologías de transferencia de datos como USB, LAN o Wi-Fi, el envío de paquetes grandes puede requerir más tiempo ya que Bluetooth está especializada en la transferencia de datos a distancias cortas, en conexiones sencillas y de bajo consumo y en general, solo alcanza velocidades bajas de transferencia de datos.

### 2.2.1. PROTOCOLO BLUETOOTH

La pila de protocolos es el centro de la tecnología ya que describe el lenguaje común con el que los dispositivos deben de utilizar para comunicarse entre ellos. Está formada por varias capas las cuales se pueden organizar en: grupo de transporte, grupos de protocolos middleware y grupo de aplicación. Los datos en la pila de protocolos siguen un flujo a través de todas las capas, excepto por la información de audio. Esta información de audio se dirige directamente desde la capa de banda base hacia la aplicación con un nivel de prioridad elevado con el propósito de asegurar la calidad de servicio en tiempo real que se espera en las aplicaciones de audio.

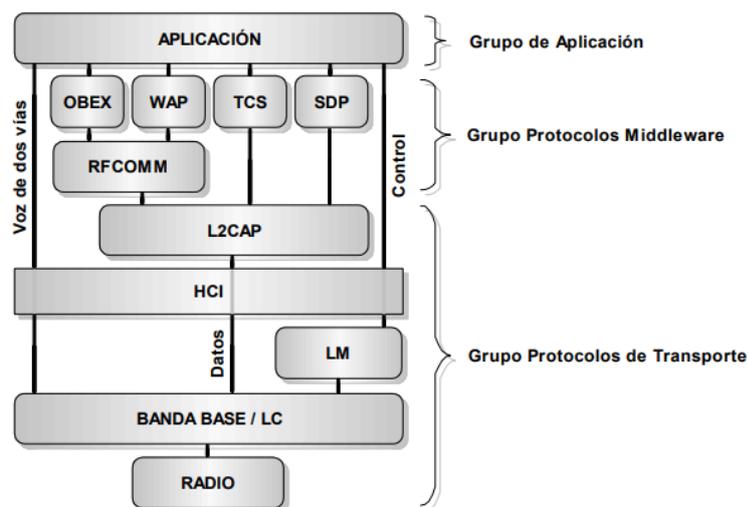


Ilustración 13 - Capas de la pila de protocolos Bluetooth [7].

Cada capa realiza una función, y son las siguientes:

- **RADIO:** Modula y demodula los datos para la transmisión y recepción a través del aire.
- **BANDA BASE y LC (Controlador de enlace):** Controla los enlaces físicos vía Radio, uniendo paquetes y generando el salto de frecuencia.
- **LM (Manejador de enlace):** Controla y configura los enlaces con otros dispositivos.
- **HCI (Interfaz controladora de host):** Conlleva las comunicaciones entre el módulo Bluetooth y un host que se encuentran separados, permitiéndole al host acceder a las capacidades de hardware del módulo.
- **L2CAP (Protocolo de adaptación y enlace lógico):** Se encarga de distribuir y acondicionar el tamaño de los paquetes para las capas altas.

- RFCOMM: Suministran una interfaz serial similar al RS232.
- PROTOCOLO DE DESCUBRIMIENTO DE SERVICIO: Permite descubrir los servicios ofrecidos por otros dispositivos.
- TCS (Protocolo de control de telefonía): Suministra servicios de telefonía.
- OBEX, WAP: Proporciona otros protocolos de comunicación a las capas altas de ser requerido.
- APLICACIÓN: Programa que hace uso de la pila de Bluetooth de una forma determinada.

### 2.3. SENSORES

Un sensor es un dispositivo diseñado para captar estímulos de su entorno físico y traducir la información recibida. Esta información se convierte en un voltaje analógico medible, incluso en algunos casos, en una señal digital, para que posteriormente sea procesada por una serie de circuitos que generan una acción predeterminada en un sistema. Estos responden a los cambios de las condiciones físicas alterando sus propiedades eléctricas, por lo que dependen de sistemas electrónicos para capturar, transmitir y analizar información sobre el ambiente.

Las características principales de los sensores son:

- CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS: Definen el funcionamiento del sensor cuando las variables tienen cambios en largos periodos de tiempo o en cambios pequeños con variaciones pequeñas. Estas características son:
  1. Rango de funcionamiento. Indica los valores máximos y mínimos en los que puede detectar algún cambio.
  2. Resolución. Es el cambio mínimo que puede captar.
  3. Sensibilidad. Es el cambio más pequeño que puede hacer el sensor en su salida.
  4. Linealidad. Capacidad del sensor para ajustarse a la salida ideal al medir reiteradamente.
  5. Offset. Se trata de la desviación que tiene la salida real con respecto a la teórica.
  6. Histéresis. Es la variación que tiene una lectura de la misma entrada, pero desde un distinto punto de lectura.
  7. Repetibilidad. Es la variación máxima que puede tener un sensor al hacer la misma medición con las mismas condiciones
  8. Precisión. Capacidad que tiene el sensor para hacer lecturas muy cercanas a otras mediciones
  9. Exactitud. Diferencia que existe en la medición entre la salida real y el valor teórico.
- CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS: Estas características se manifiestan cuando una medición se modifica bruscamente. Las características son:
  1. Velocidad de respuesta. Capacidad en la cual la señal de salida responde ante los cambios bruscos de la entrada.

2. Respuesta frecuencial. Capacidad para responder ante las variaciones de frecuencia de la señal de entrada.
3. Estabilidad. Indica la desviación de la salida con respecto a los valores reales contra los teóricos.
4. Ruido. Perturbaciones aleatorias que tienen los sensores a la hora de hacer las mediciones.

### 2.3.1. SENSORES CON LoRaWAN

Los sensores con LoRaWAN encuentran su aplicación en una diversidad de usos dentro del ámbito del Internet de las cosas, ya que permiten la medición de diversos parámetros. En el mercado actual, se pueden encontrar diversos modelos de sensores LoRaWAN, cada uno de ellos diseñado para atender necesidades específicas. A continuación, se van a presentar los distintos sensores LoRaWAN que podemos encontrar en el mercado actual:

- Para la agricultura inteligente: sensor de humedad del suelo, sensor de temperatura y humedad, sensor de luz, sensor de pH y sensor meteorológico.
- Para la monitorización ambiental: Sensor de temperatura, sensor de humedad, detector de humo, monitor de CO<sub>2</sub>, sensor de calidad del aire, sensor de calidad del agua, sensor de luz y sensor de movimiento.
- Para la salud inteligente: Botón de pánico, rastreador de activos, monitor de temperatura, monitor de pulso cardíaco y monitor de frecuencia respiratoria.
- Para la industria inteligente: Rastreador portátil, rastreador de activos, sensor de presión de aire/gas/agua y sensor de nivel de líquido.
- Para la medición inteligente: Contador de agua inteligente, enchufe de medidor inteligente, detector de fugas y sensor de gases.
- Para la cadena de suministro y logística: Rastreador de activos y sensor de temperatura y humedad.
- Para un edificio inteligente: Sensor de habitación inteligente PIR, sensor de calidad del aire, sensor de temperatura y humedad, sensor de luz, detector de fugas y sensor de estacionamiento.

## 3. ESTADO DEL MERCADO

Ante el considerable avance que la tecnología LoRa ha experimentado en los últimos años, es comprensible observar un progreso paralelo en la industria del hardware de LoRa.

### 3.1. FABRICANTES

#### 3.1.1. FABRICANTES LoRaWAN

En esta sección, exploramos la metodología para seleccionar los sensores LoRaWAN adecuados en el ámbito de IoT. En esta ocasión, he compilado una lista de los siete fabricantes líderes de sensores LoRaWAN en el mercado, todos ellos miembros destacados de la LoRa Alliance [8].

### **MOKOLoRa**

MOKOLoRa representa un fabricante chino distinguido por su enfoque en ofrecer soluciones de sensores LoRaWAN de gran valor para diversas aplicaciones dentro del universo de IoT. Su catálogo abarca una variedad de sensores que incluyen desde rastreadores GPS hasta detectores de estacionamiento y enchufes medidores. Una característica sobresaliente de su oferta es la capacidad de asegurar una transmisión de datos confiable a distancias considerables. Los sensores de MOKOLoRa ostentan un diseño energéticamente eficiente y una instalación sencilla, lo que los convierte en la elección óptima para labores de seguimiento de activos, supervisión ambiental y más. Adicionalmente, se enorgullecen de brindar alternativas personalizadas para satisfacer los requerimientos específicos de sus clientes.

### **Adeunis**

Adeunis es una empresa francesa que se dedica a la concepción y fabricación de diversas soluciones inalámbricas, tanto LoRaWAN como Sigfox. Su catálogo de sensores se destaca por su robustez, precisión y eficiencia energética, cualidades que los hacen idóneos para entornos desafiantes y con una larga duración de batería. Los sensores Adeunis abarcan un amplio espectro de aplicaciones, abarcando desde medición de temperatura, humedad y calidad del aire hasta monitorización energética, y mucho más.

### **Multitech**

Multitech es una empresa estadounidense que desarrolla una variedad de dispositivos para el Internet de las Cosas (IoT), que abarcan desde sensores hasta puertas de enlace, todos basados en la tecnología LoRa. Sus sensores han sido diseñados para lograr una implementación e integración fluidas, proporcionando un conjunto diverso de características, desde el rastreo de ubicación hasta la detección de temperaturas y fugas. Los sensores multitecnología cubren una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la monitorización ambiental, ciudades inteligentes, automatización industrial, y más.

### **Libelium**

Libelium es una empresa española que ofrece soluciones de hardware y software IoT, incluyendo sensores LoRaWAN, pasarelas, y plataformas en la nube. Sus sensores están diseñados para monitorizar varios parámetros ambientales, incluyendo, sin limitaciones, la calidad del aire, calidad del agua, y niveles de ruido. Debido a su alta precisión, fiabilidad, y facilidad de integración, los sensores de Libelium son una opción popular en varias aplicaciones de IoT, incluyendo ciudades inteligentes, agricultura, y monitorización ambiental.

### **Dragino Technology**

Dragino Technology es un fabricante chino especializado en la creación de sensores y puertas de enlace LoRaWAN que proporcionan diversas soluciones para los distintos mercados del Internet de las Cosas (IoT). Sus sensores se han creado con un enfoque en la eficiencia energética, una prolongada duración de batería y una implementación sin complicaciones, cualidades que los hacen aptos para una extensa gama de aplicaciones, como ciudades inteligentes, agricultura y monitorización ambiental. La versatilidad de los sensores de Dragino Technology se manifiesta en su variado conjunto de características, que abarcan desde la medición de presión en aire, gas y agua hasta la detección de distancia y el seguimiento de temperatura y humedad, entre otras funcionalidades.

### **Bosch**

Bosch se distingue como un proveedor ampliamente reconocido en el ámbito de las soluciones de detección basadas en MEMS, siendo particularmente destacados sus sensores LoRaWAN concebidos para atender a diversas aplicaciones dentro del IoT. Estos sensores se destacan por su capacidad para sobrellevar ambientes desafiantes y ofrecen atributos tales como la

monitorización de la calidad del aire, la detección de humedad y el seguimiento de gases. Los sensores de Bosch son eminentemente confiables y resultan ideales para aplicaciones industriales dentro del IoT que requieren soluciones de detección sólidas y precisas. A su vez, se caracterizan por ser energéticamente eficientes, adaptándose a una variedad de contextos, desde ciudades inteligentes hasta la supervisión ambiental y los procesos industriales.

### **Heltec**

Heltec automation es una empresa con sede en China especializada en el desarrollo y la fabricación de soluciones de IoT y dispositivos de comunicación inalámbrica. Fue fundada en 2014, y actualmente se centra en dos sectores, uno de los cuales es, IoT. Esta empresa se centra en las áreas de industria, agricultura, ciudades inteligentes, protección de seguridad, educación, investigación científica y otras. Heltec ofrece una amplia gama de productos y servicios relacionados con IoT, incluyendo módulos y placas de desarrollo LoRaWAN, Gateways, sensores y accesorios que facilitan la conectividad y la recopilación de datos de aplicaciones IoT.

### **3.1.2. FABRICANTES DE SENSORES**

Algunas de las empresas más destacadas en la fabricación de sensores de temperatura y humedad son:

#### **Sensirion**

Sensirion es una empresa suiza reconocida por sus sensores de temperatura y humedad de alta precisión. Sus sensores se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde dispositivos médicos hasta automatización del hogar. La calidad y la precisión de sus sensores los hacen muy confiables en entornos críticos.

#### **Honeywell**

Honeywell es una empresa estadounidense líder en la fabricación de sensores de temperatura y humedad. Sus sensores se utilizan en aplicaciones industriales, comerciales y de consumo. Honeywell es conocida por su robustez y durabilidad, lo que los hace ideales para aplicaciones exigentes.

#### **Bosch Sensortec**

Bosch Sensortec, una división de Bosch, fabrica sensores de temperatura y humedad de alta calidad. Sus sensores se utilizan en dispositivos electrónicos, automóviles y sistemas de climatización. Ofrecen precisión y estabilidad en una variedad de condiciones ambientales.

#### **TE Connectivity**

TE Connectivity es una empresa global que produce una amplia gama de sensores, incluyendo sensores de temperatura y humedad. Sus sensores se utilizan en aplicaciones industriales, automotrices y médicas, y son conocidos por su confiabilidad y precisión.

#### **Siemens**

Siemens es una empresa alemana que fabrica una amplia gama de productos, incluyendo sensores de temperatura y humedad. Sus sensores se utilizan en aplicaciones industriales y de automatización, y son valorados por su calidad y precisión.

### **3.2. TRABAJOS RELACIONADOS**

En esta sección se detallarán algunos proyectos relacionados con mi proyecto ya que están trabajando actualmente con LoRa para soluciones IoT.

#### **Stechome**

Esta empresa ha iniciado dos innovadores proyectos que incorporan soluciones IoT LoRa al mundo de la rehabilitación y regeneración en entornos urbanos. Se trata de una serie de proyectos que buscan establecer micro-redes de comunicación a nivel de vecindario. Estas redes permitirán la integración de una variedad de sensores y dispositivos destinados a realizar un seguimiento en tiempo real del consumo de energía de las familias y su nivel de confort. Además, incluyen una serie de dispositivos individuales que permiten a los usuarios conocer instantáneamente el impacto de sus acciones desde sus propios hogares, incluso interactuar con sus propios sistemas de calefacción o climatización.

Estos proyectos hacen uso de la tecnología LoRa y una combinación de productos en el mercado, junto con el desarrollo específico de Stechome. Esta empresa actúa como asistente digitalizador de la energía o terminal de usuario, y es completamente abierto y libre. Esto posibilita que tanto los usuarios como las instituciones involucradas en estas iniciativas puedan visualizar, gestionar y controlar una verdadera transformación energética.

Los proyectos que llevan actualmente son:

- Reducción de la factura energética

Han desarrollado una primera fase que abarca un determinado número de viviendas, que posteriormente, permitirá integrar en la red a más de 800 viviendas que están abordando estos procesos de rehabilitación regeneración urbana mediante la incorporación de sistemas pasivos en sus edificios, soluciones de movilidad, así como la incorporación de posibles soluciones de energía renovables que permitirán reducir la factura energética de los usuarios.

En este proceso, la digitalización energética, se ofrece un servicio de asesoramiento a las familias que abarca un análisis y optimización de sus patrones de consumo y comportamientos energéticos, además de la adecuación de las tarifas individuales de electricidad o gas natural.

Se desarrollarán también a lo largo del proyecto diversos talleres y eventos formativos e informativos sobre el funcionamiento del mercado energético, consejos para el ahorro, eficiencia y sostenibilidad, así

- Monitorización energética

Stechome cuenta con un desarrollo tecnológico y un equipo especializado en la atención del comportamiento energético familiar. Esta empresa trabaja en servicios y soluciones específicas con el propósito de reducir el impacto de las facturas de energía de los consumidores y hogares. Ofrece a las familias un asistente virtual que les permite visualizar cómo afecta su comportamiento en términos energéticos, compararse con otros usuarios y realizar un seguimiento efectivo de su consumo energético y nivel de confort.

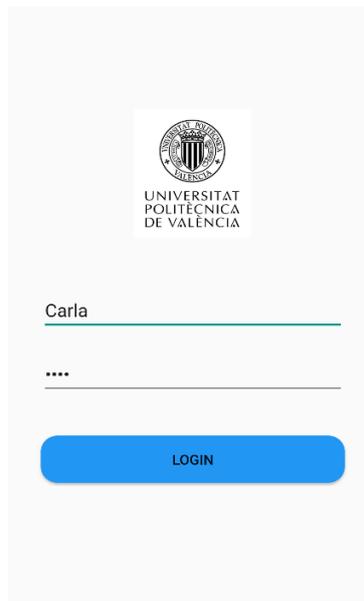
Uno de los principales objetivos de estas iniciativas es proporcionar a los usuarios y organizadores herramientas que les permitirán medir y verificar el impacto real de las inversiones destinadas a la rehabilitación y regeneración.

El seguimiento de variables como la temperatura, humedad, CO2 y el consumo de electricidad y gas natural permite establecer y comparar perfiles y comportamientos antes y después de los procesos de rehabilitación, proporcionando una medida concreta del impacto de las inversiones realizadas.

## 4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.

Esta parte trata la descripción de la interfaz de usuario de la aplicación, de manera detallada sobre en la que los usuarios deben hacer uso de la aplicación.

La idea principal de esta aplicación se fundamenta en la simplicidad, con el propósito de que cualquier usuario pueda emplearla de manera sin complicaciones. Al inicializar la aplicación, se despliega una pantalla de inicio, que en estos momentos no está asociada a ninguna base de datos, por lo que preprogramé que el único usuario con el que se pudiese entrar fuese “Carla” con la contraseña “1234”.



*Ilustración 14 - Pantalla de inicio.*

Al acceder a la aplicación, nos recibe una interfaz en la que se llevará a cabo la vinculación Bluetooth del teléfono móvil con el sensor. En primer lugar, debemos asegurarnos de que el Bluetooth del dispositivo está activado. Podemos activarlo mediante el botón “BLUETOOTH ON”. Una vez completada esta acción, para buscar los dispositivos Bluetooth que hay en dentro de nuestro rango, se debe presionar el botón “BUSCAR DISPOSITIVOS”. Después de finalizar la búsqueda, una lista de los dispositivos hallados aparecerá debajo del botón mencionado y si queremos conectarnos a uno de ellos, simplemente tendremos que pulsar sobre el nombre del dispositivo y esperar a que se cree la conexión y se establezca. Para comprobar si la conexión se ha podido establecer, debemos verificar el mensaje que aparece a continuación de “Estado:”. Si se ha realizado correctamente aparecerá “Connected to Device + (Nombre del sensor)”. De lo contrario veremos “Connection Failed”.

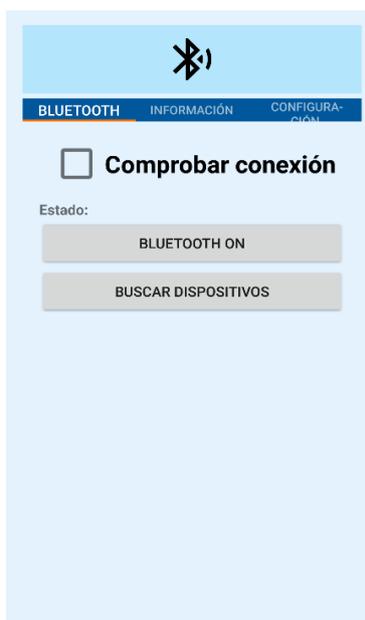


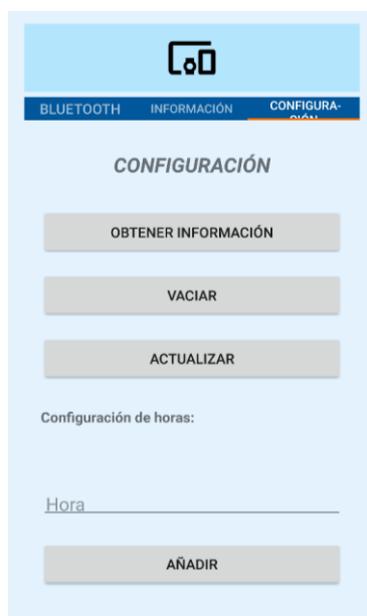
Ilustración 15 - Fragmento Bluetooth.

Una vez hayamos logrado establecer la conexión con el sensor, procedemos a dirigirnos al segundo “tab” de la pantalla. Aquí, encontraremos un botón que lleva la inscripción “OBTENER INFORMACIÓN”. Al presionar dicho botón, se desplegarán en la pantalla los datos meteorológicos que se hayan almacenado en la tarjeta SD que hemos instalado en el sensor, junto con las horas en las cuales el sensor se configuró para llevar a cabo las mediciones.



Ilustración 16 - Fragmento Información del sensor.

En la última sección, encontramos la opción de ajustar la configuración del sensor. En esta área, veremos una serie de botones junto con una lista editable que muestra las horas programadas para la toma de muestras por parte del sensor. Después de haber establecido previamente la conexión Bluetooth, para obtener información sobre la configuración, debemos hacer clic en el botón “OBTENER INFORMACIÓN”. Los datos recibidos se añaden a la lista editable, permitiendo al usuario eliminar horas programadas o incluso agregar nuevas horas para las mediciones. Para eliminar una hora de la lista editable, simplemente haz clic en el botón con el texto “ELIMINAR” que se encuentra junto a cada hora. Para agregar nuevas horas, deberás escribirlas en el cuadro de texto que se encuentra en la parte inferior de la pantalla y luego hacer clic en el botón “AÑADIR”. También existe un botón con el texto “VACIAR” que vacía la lista editable. Finalmente, una vez que hayas terminado de editar la lista de configuración y deseas actualizar esta información en el sensor, presiona el botón “ACTUALIZAR” para enviar la nueva información al sensor a través de la conexión Bluetooth y que se actualice.



*Ilustración 17 - Fragmento Configuración.*

## 5. ELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE DESARROLLO PARA LA APLICACIÓN

Para el desarrollo de la aplicación, se seleccionó Android Studio debido a su amplia aceptación en la comunidad de desarrollo de aplicaciones móviles Android. Ofrece herramientas y recursos que facilitan la creación de interfaces de usuario intuitivas y la integración de funciones avanzadas, como la conexión Bluetooth.

Android Studio representa el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial destinado al desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo Android. Esta plataforma, basada en el potente editor de código y las herramientas para desarrolladores de IntelliJ IDEA, proporciona

una serie de funcionalidades adicionales que amplían tu capacidad de trabajo y aumentan la eficiencia durante la creación de aplicaciones para Android. Estas características incluyen:

- Sistema de compilación flexible basado en Gradle.
- Emulador rápido y cargado de funciones.
- Entorno unificado para todos los dispositivos Android.
- Ediciones en vivo para actualizar elementos componibles en emuladores y dispositivos físicos, en tiempo real.
- Integración con GitHub y plantillas de código para ayudar al usuario a compilar funciones de aplicaciones comunes.
- Mucha variedad de marcos de trabajo y herramientas de prueba.
- Herramientas de Lint para identificar problemas de rendimiento, usabilidad y compatibilidad de versiones.

Algunas de las diversas clases y API que Android Studio ofrecía para poder trabajar con conexiones Bluetooth son:

- `BluetoothAdapter`: Representa el adaptador Bluetooth del dispositivo local. Permite realizar tareas fundamentales de Bluetooth, como iniciar el descubrimiento de dispositivos, consultar una lista de dispositivos vinculados (emparejados), crear una instancia `BluetoothDevice` utilizando una dirección MAC conocida y crear una `BluetoothServerSocket` para escuchar solicitudes de conexión de otros dispositivos e iniciar una búsqueda de Bluetooth. Dispositivos LE.
- `BluetoothDevice`: Representa un dispositivo Bluetooth remoto. Permite crear una conexión con el dispositivo respectivo o consultar información sobre él, como el nombre, la dirección, la clase y el estado de vinculación.
- `BluetoothSocket`: Esta clase se utiliza para establecer una conexión Bluetooth entre dispositivos. Proporciona un flujo de entrada y un flujo de salida para la comunicación de datos.
- `BluetoothServerSocket`: Utilizada en el lado del servidor para esperar y aceptar conexiones entrantes de dispositivos Bluetooth.

## 6. PRIMERA PRUEBA

### 6.1. DISPOSITIVOS UTILIZADOS

Para realizar las primeras pruebas de la aplicación se utilizó un TTGO ESP32 SX1276 LoRa 868MHz. Se trata de una placa de desarrollo que fusiona diversas tecnologías en un solo dispositivo y es una herramienta esencial para desarrolladores que buscan trabajar en proyectos que requieren múltiples formas de comunicación inalámbrica. Su enfoque en la intercomunicación LoRa sugiere que puede ser utilizada para establecer comunicación bidireccional de largo alcance en aplicaciones como sistemas de intercomunicación remota.

Está compuesta por el potente microcontrolador Lexin ESP32 de bajo consumo, formado por un procesador de doble núcleo Tensilica LX6 con una frecuencia de reloj de 240 MHz. Tiene una capacidad de cómputo de hasta 600 DMIPS y cuenta con 520 KB de SRAM integrada. Además,

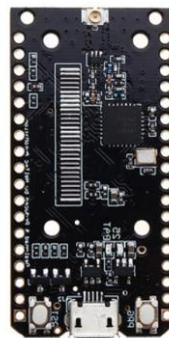
incluye un transceptor Wi-fi 802.11 b/g/n HT40 y cuenta con Bluetooth de doble modo integrado, abarcando tanto el Bluetooth tradicional como el Bluetooth de baja energía (BLE).

Este producto se basa en el Wi-fi 32 al cual se le ha incorporado el chip SX1276. Este chip posibilita la modulación remota de LoRa en una frecuencia de 868 MHz, logrando una alta sensibilidad de aproximadamente -148 dBm y una potencia +20 dBm, garantizando una confiabilidad asegurada para comunicaciones de largo alcance y bajo consumo energético.

La placa también está equipada con 128 MBytes de memoria flash, una antena Wi-fi, un circuito e interfaz para la carga de baterías de litio, además del chip CP2102 USB a serie. Este proporciona un soporte óptimo para el entorno de desarrollo *i*, lo que facilita la verificación de programas y desarrollo de productos de manera eficaz y sencilla.



*Ilustración 18 - Dispositivo TTGO EPS32 (parte frontal).*



*Ilustración 19 - Dispositivo TTGO (parte trasera).*

## 6.2. DISEÑO

En este apartado, se presenta el proceso de desarrollo de la aplicación utilizando Android Studio como plataforma de desarrollo. Se describirá cómo se logró la conexión Bluetooth con los sensores LoRa y cómo se implementaron las funcionalidades clave para configurar y recopilar los datos meteorológicos.

La implementación de la conexión Bluetooth en la aplicación se realizó mediante el aprovechamiento de clases y APIs disponibles en Android Studio. Estas clases se emplearon para formar una clase principal denominada “BluetoothConnection”, la cual otorgaría a todos los fragmentos la capacidad de acceder a las funciones Bluetooth.

El primer fragmento aborda la conexión Bluetooth con los sensores. Aquí, se recurrió a las funciones de la clase padre “BluetoothConnection” para habilitar y deshabilitar el Bluetooth, así

como para explorar dispositivos en las cercanías que estuvieran dentro del alcance Bluetooth. Las funciones utilizadas para activar el Bluetooth fueron las siguientes:

- Para verificar si el Bluetooth del dispositivo móvil está encendido: "bluetoothAdapter.isEnabled()".
- Para activar el Bluetooth: se creó inicialmente un intento, "Intent enableBluetooth = new Intent(BluetoothAdapter.ACTION\_REQUEST\_ENABLE);", y luego se ejecutó con "this.startActivityForResult(enableBluetooth, REQUEST\_ENABLE\_BT);".
- Y para explorar dispositivos de nuestro rango: "bluetoothAdapter.startDiscovery()".

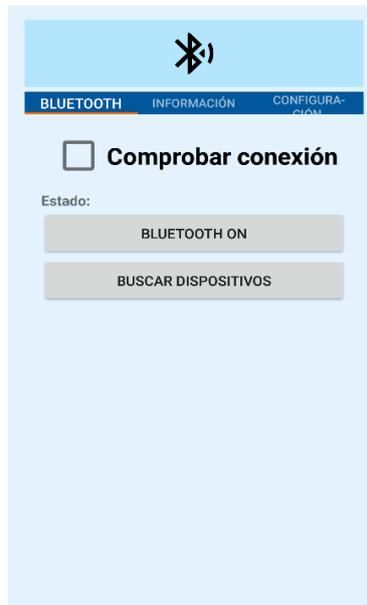


Ilustración 20 - Fragmento Bluetooth.

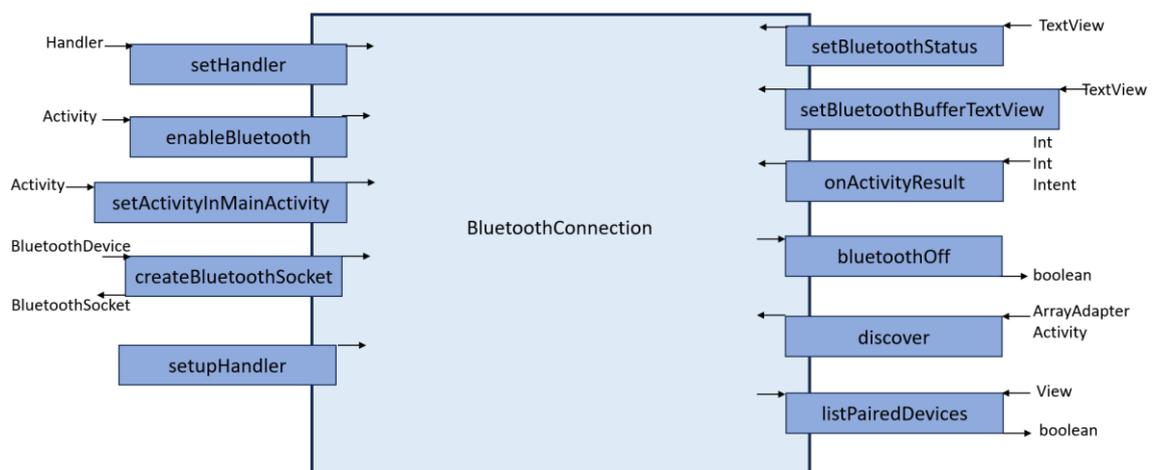


Ilustración 21 - Diagrama de funciones de la clase BluetoothConnection.

La siguiente pantalla de la aplicación está diseñada para la extracción de datos recopilados por el sensor. Para comenzar, una vez que se ha establecido la conexión entre el dispositivo y el sensor, cada vez que cambiamos a la segunda pestaña, se envía un mensaje Bluetooth con una cabecera identificativa "A000". Cuando el sensor recibe este mensaje, su función es responder

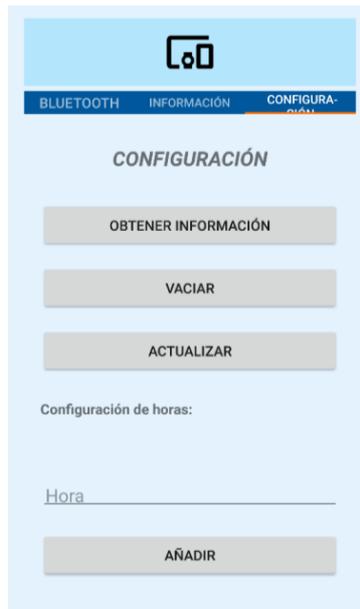
con un mensaje que contiene toda la información almacenada en la tarjeta SD relacionada con los datos meteorológicos. Al hacer clic en el botón “OBTENER INFORMACIÓN”, la aplicación procesa esta información y la organiza según las necesidades.



*Ilustración 22 - Fragmento Información del sensor.*

Cada tipo de dato meteorológico tiene su propia cabecera distintiva, como “A1” para la temperatura y “A2” para la humedad. Por lo tanto, cuando pulsamos el botón “OBTENER INFORMACIÓN”, la aplicación se encarga de dividir el mensaje recibido en múltiples mensajes, cada uno con su respectiva cabecera. Luego, dirige estos mensajes a las secciones correspondientes para que los datos recopilados por el sensor se muestren junto con sus respectivas horas en la categoría adecuada.

Y por último el tercer fragmento de la aplicación ocupa la sección en la cual es posible llevar a cabo la configuración del sensor. Al igual que en el segundo fragmento, para proceder a establecer las horas en las que se requiere que el sensor realice las mediciones, es imprescindible establecer primero una conexión entre el dispositivo y el sensor. Una vez que esto se haya establecido, podemos pasar al tercer fragmento.



*Ilustración 23 - Fragmento Configuración.*

Cada vez que se transita al tercer fragmento, se emite un mensaje desde el dispositivo hacia el sensor con el propósito de notificar que se ha ingresado en la sección de configuración y se anhela que el sensor nos facilite la información relacionada con su programación horaria. La cabecera para poder extraer la información de configuración es “B000”. Cuando el sensor procesa este mensaje, este envía otro mensaje vía Bluetooth al dispositivo con toda la información pedida. Para poder visualizarla tenemos que pulsar el botón “OBTENER INFORMACIÓN”, este nos mostrara la lista de horas en las que el sensor tenía establecidas las tomas de muestras en la lista editable de esta pantalla, lo que permitirá llevar a cabo los ajustes que sean necesarios para el usuario.

Una vez que se hayan efectuado las ediciones necesarias en la lista, incorporando las horas de interés, será necesario pulsar el botón “ACTUALIZAR”. Al ejecutar esta acción, la información modificada será remitida al sensor con el fin de que este proceda a actualizarla y guardarla en su memoria.

### 6.3. PRUEBAS

La primera prueba que realicé fue la comprobación de que la conexión Bluetooth se estableciese correctamente con el sensor. Con la aplicación iniciada, Bluetooth del dispositivo activado y el TTGO activo con su código subido realicé lo siguiente:

Primero pulsé el botón “BUSCAR DISPOSITIVOS” para buscar los dispositivos que hay a nuestro alcance, y encontramos nuestro TTGO llamado “LoRaCARLA”.



Ilustración 24 - Fragmento Bluetooth.

Una vez localizado, pulsé encima del nombre del sensor para poder establecer la conexión Bluetooth entre ellos y comprobé que la conexión funcionaba de dos formas.

La primera forma de comprobar si la conexión Bluetooth se estableció correctamente fue revisar el mensaje junto a “Estado:”. Si la conexión se estableció adecuadamente, se mostrará el siguiente mensaje:

**Estado: Connected to Device:LoRaCARLA**

Ilustración 25 - Mensaje que verifica que la conexión Bluetooth se ha establecido correctamente.

Por otro lado, si no es posible establecer conexión, se mostrará “Connection Failed”.

La segunda forma con la que comprobé si la conexión se había establecido correctamente fue marcando la casilla de verificación que se encuentra en la parte superior de la pantalla. Esta envía un mensaje con la palabra “CARLA” al TTGO a través de la conexión Bluetooth, por lo que si se ha realizado correctamente podremos visualizar este mensaje en la consola del TTGO, mientras que si no se ha podido establecer, no veremos nada.

```
:0x17 (SPI_FAST_FLASH_BOThe device started, now you can pair it with bluetooth!  
CARLA
```

Ilustración 26 - Verificación con el mensaje “CARLA” en la consola del sensor.

Para la verificación de la segunda sección, primero comprobé que, al pasar a este fragmento, el TTGO recibía el mensaje “A000” (en base64). Este mensaje, indica que envíe al dispositivo móvil la información sobre los datos meteorológicos que haya recogido. También comprobé que al pulsar el botón “OBTENER INFORMACIÓN” el dispositivo recibía la información correcta y lo distribuía correctamente según el tipo de dato meteorológico.



Ilustración 27 - Fragmento Información del sensor.

Por último, para la tercera sección, primero hice la misma comprobación que en el segundo fragmento, pero con el mensaje "B000" Este mensaje indica al TTGO que envíe por Bluetooth al móvil un mensaje con la información sobre las horas en las que está configurado el sensor para tomar mediciones. Después pulsé el botón "OBTENER INFORMACIÓN" para poder visualizar en la aplicación dichas horas, y así poder probar a editar la lista de horas de configuración.



Ilustración 28 - Fragmento Configuración antes de cambiar la configuración.

Una vez editada la lista pulsé el botón de "ACTUALIZAR" para actualizar esta información en el TTGO. Para comprobar que la información se actualizó correctamente, primero edité la lista

dejando solo las tomas de las 16:00 y las 23:00, pulsé el botón “ACTUALIZAR”, después hice clic en “VACIAR” para vaciar la tabla y volví a pulsar el botón “OBTENER INFORMACIÓN”. De esta manera pude verificar su correcto funcionamiento ya que esta vez se visualizaban en la lista las horas actualizadas a las que se había configurado.

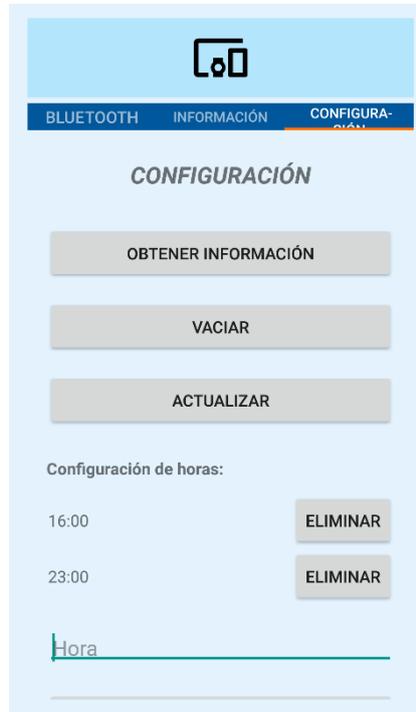


Ilustración 29 - Fragmento Configuración después de cambiar la configuración.

## 7. PRUEBAS Y VALIDACIÓN

### 7.1. DISPOSITIVOS

Para realizar las pruebas reales, se utilizaron los siguientes dispositivos:

- HELTEC Wifi LoRa 32 (V2)



Ilustración 30 - Módulo HELTEC Wi-Fi LoRa 32 (v2).

Es una tarjeta de desarrollo basada en un microcontrolador ESP32, que ofrece conectividad WiFi y Bluetooth (BLE), junto con el chip SX1276 para la conectividad LoRa. Esta combinación permite establecer comunicaciones utilizando la tecnología LoRa en la banda de frecuencia de 915 MHz.

La serie Wifi Kit utiliza el reconocido procesador ESP32, que cuenta con un procesador de doble núcleo LX6 que opera a 240 MHz y ofrece un rendimiento de 600 DMIPS. Además, tiene 520 KB de SRAM. En términos de conectividad, dispone de un transceptor Wi-Fi 802.11 b/g/n HT40 y Bluetooth integrado de doble modo, lo que significa que es compatible tanto con Bluetooth tradicional como con Bluetooth BLE de baja potencia.

Este producto incorpora el chip SX1276 para la transmisión LoRa. El SX1276 es un módem LoRa™ que opera en la frecuencia de 915 MHz, y se caracteriza por su alta sensibilidad, alcanzando hasta -148 dBm, y una potencia de salida de +20 dBm. Esto garantiza una alta fiabilidad en las comunicaciones y permite una distancia de transmisión de hasta 2.6 kilómetros en condiciones de área abierta.

Además de estas características, la tarjeta de desarrollo incluye una pantalla OLED azul de 0.96 pulgadas para mostrar información, un circuito de carga de batería de litio para alimentación móvil y una interfaz CP2102 USB para la conexión con una computadora personal. Esto facilita la programación de la tarjeta utilizando el entorno de desarrollo de Arduino.

En resumen, esta tarjeta de desarrollo es una herramienta versátil que combina conectividad WiFi, Bluetooth y LoRa, lo que la hace ideal para aplicaciones que requieren comunicaciones inalámbricas de largo alcance y bajo consumo de energía. Además, su capacidad de programación a través de Arduino la hace accesible para desarrolladores con experiencia en esta plataforma.

- DHT22



*Ilustración 31 - Sensor de temperatura DHT22.*

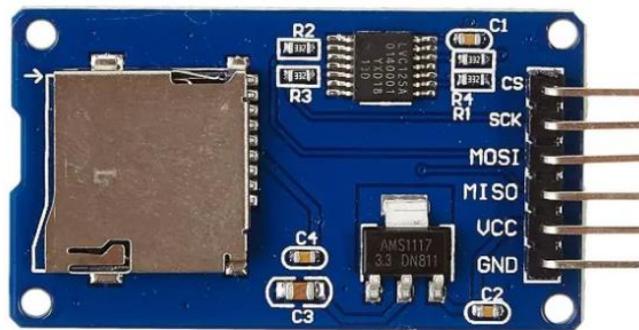
DHT22, también llamado como AM2302, es un sensor digital de temperatura y humedad que ofrece un buen rendimiento a un bajo costo. Este dispositivo integra un sensor capacitivo para medir la humedad y un termistor para medir la temperatura del entorno circundante, y estos datos se transmiten a través de una señal digital en el pin de datos.

La utilización del sensor DHT22 con plataformas como Arduino, Raspberry Pi o Nodemu es muy sencilla, tanto desde una perspectiva de software como de hardware. En cuanto al software, existen librerías específicas para Arduino que admiten el protocolo "Single bus". Por otro lado, el hardware, solo requiere conectar el pin VCC a una fuente de 3-5V, el pin GND a tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en la placa Arduino.

Cada sensor se calibra en la fábrica para obtener coeficientes de calibración que se almacenan en su memoria OTP, lo que garantiza una alta estabilidad y confiabilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador utiliza un solo hilo o cable, y se recomienda que la longitud máxima de este sea de 20 metros, de preferencia, de cable apantallado. Además, se debe proteger el sensor de la luz directa del sol, especialmente de la radiación UV.

Algunas aplicaciones para las que se usa este sensor son para el control automático de temperatura, sistemas de aire acondicionado y la monitorización ambiental en la agricultura, entre otros.

- Módulo MicroSD Card Adapter



*Ilustración 32 - Módulo MicroSD Card Adapter.*

Este módulo lector de memoria MicroSD Card ha sido diseñado para facilitar el acceso a las tarjetas memoria microSD en modo SPI. Las señales de control en este bus de comunicación están identificadas con sus nombres correspondientes. Este módulo es compatible con tarjetas microSD y micro SDHC, lo que amplía su versatilidad.

Una de las características más destacadas de este módulo es la inclusión del chip MC74VHCT125A/74LVC125A, que actúa como un circuito de conversión de voltaje lógico. Esto permite la comunicación con dispositivos que operan a niveles de voltajes 3.3V o 5V, lo que ofrece flexibilidad en la interconexión con diferentes sistemas.

Además, este dispositivo cuenta con un regulador de voltaje integrado en la placa, lo que significa que puede ser alimentado de manera segura con hasta 5V. Esto simplifica la alimentación y hace que el módulo sea compatible con una amplia variedad de microcontroladores y tarjetas de desarrollo, incluyendo Arduino y otros dispositivos similares.



## 7.2. CAMBIOS REALIZADOS RESPECTO A LA PRIMERA PRUEBA

Para la realización final de mi proyecto realicé varios cambios respecto a la primera prueba, tanto en la aplicación de Android Studio, como en el código para el módulo microcontrolador Heltec.

Los cambios realizados fueron los siguientes:

- Se añadió un apartado dentro de la aplicación para poder extraer información de servidores a través de una conexión MQTT.
- En el fragmento de extracción de información, como ahora disponemos de una tarjeta microSD donde se guardan los datos de cada día en distintos archivos de texto, se añadió un calendario para escoger la fecha que nosotros queremos para visualizar su información.
- Se dispone de un sensor de temperatura y humedad y de un módulo de reloj, por lo que los datos ya no serán predefinidos, sino que serán datos reales.
- Y por último se cambiaron algunas de las cabeceras que se habían definido para la primera prueba. A continuación, se les mostrarán como han quedado finalmente.

## 7.3. DISEÑO

Para el desarrollo del proyecto final, se utilizó el mismo desarrollo que la primera prueba pero, como he comentado anteriormente, con diversas modificaciones. En esta sección podremos visualizar también los diagramas de bloque de cada parte de la aplicación.

El primer cambio fue que una vez ingresas en el Login, en vez de redirigirte al fragmento donde manejábamos la conexión Bluetooth, te lleva a un menú de dos botones. El primer botón lleva el nombre "MQTT" donde podemos realizar conexiones MQTT con servidores y poder extraer información, en este caso, de otros nodos LoRa conectados a dicho servidor. Y el segundo botón, "BLUETOOTH", te lleva al apartado donde se encontrarán los fragmentos de conexión de bluetooth, extracción de información y configuración de horas.

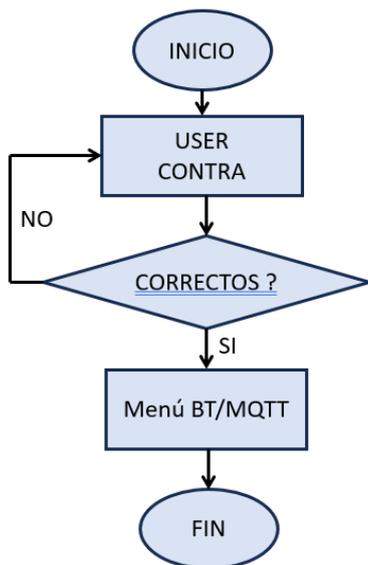


Ilustración 35 - Diagrama de bloques del Login.

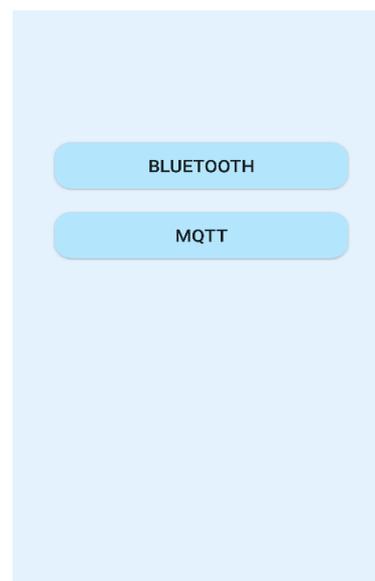


Ilustración 36 - Menú después del Login.

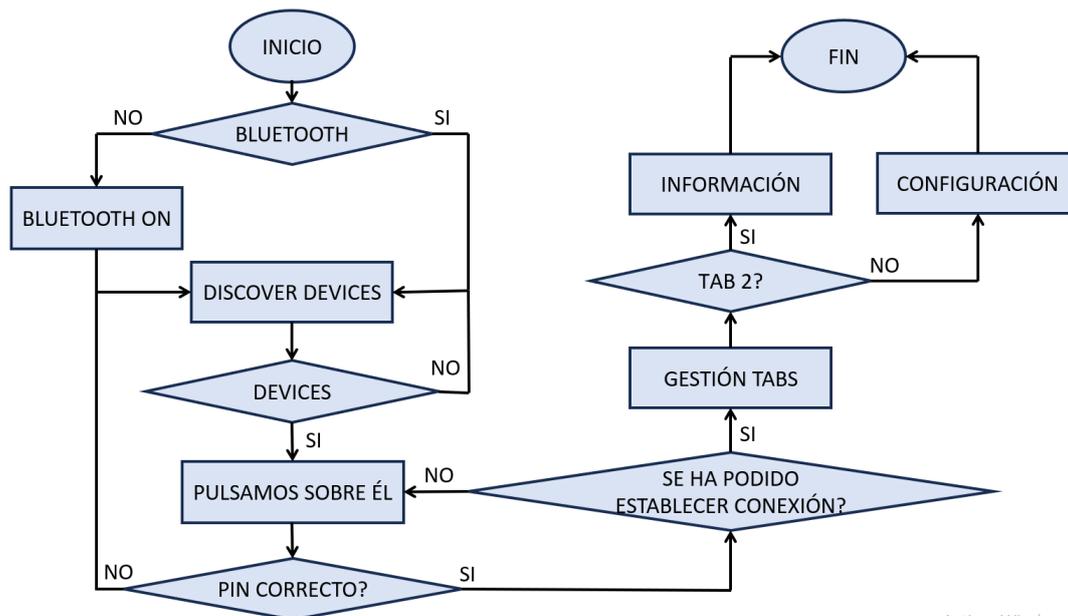


Ilustración 37 - Diagrama de bloques del fragmento Bluetooth.

El siguiente cambio se realizó en el fragmento de extracción de la información del módulo en el que nos conectamos. Esta vez, en vez de enviar un mensaje a través de la conexión Bluetooth con la cabecera “CABEZERA CAMBIO” para poder recibir la información cuando se accede a este fragmento, primero deberemos escoger la fecha del día que queremos extraer los datos. Para ello, como podemos ver en su respectiva interfaz, tendremos que pulsar el botón “ESCOGER FECHA”, al hacer clic en este botón, se abre un calendario donde podremos escoger la fecha. Una vez escogida, pulsamos el botón “OK”, y se envía un mensaje a través de Bluetooth con el formato “A0\_DD-MM-YYYY”. Cuando el microcontrolador recibe este mensaje, se queda con el mensaje que corresponde a la fecha y busca en la tarjeta microSD los archivos con el nombre de esa fecha. Cuando los encuentra los lee y envía un mensaje con el siguiente formato a la app “B1INFOTEMPERATURA\_B2INFOHUMEDAD”. Cuando se recibe este mensaje, la app divide el mensaje por cada barra baja, y si el mensaje empieza por “B1” significa que los datos de este mensaje son de tipo temperatura y se visualizarán en su cuadro de texto correspondiente, por el contrario, si empieza por “B2” corresponden a datos de humedad.



Ilustración 38 - Fragmento información del sensor.



Ilustración 39 - Calendario que se inicia al pulsar el botón "ESCOJER FECHA".

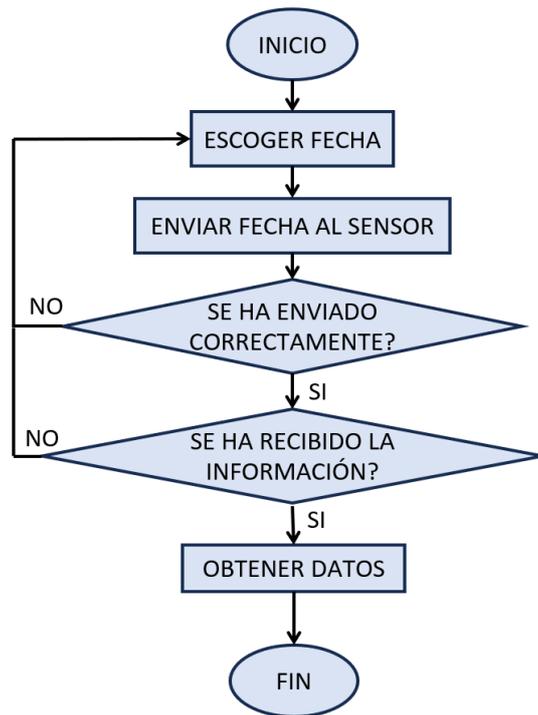


Ilustración 40 - Diagrama de bloques del fragmento de Información del sensor.

En el último fragmento, cuando se accede a él, se envía desde la app al microcontrolador el siguiente mensaje "B0", Cuando este lo recibe, recorre el array donde se guardan las horas de configuración y las envía a la app con el siguiente formato "COHH:MM\_HH:MM\_HH:MM". Una vez recibida esta información se separa por las barras bajas y se imprime cada hora en una lista editable. En este momento, podremos modificar dicha lista a nuestro gusto, según las

necesidades que haya. Una vez hayamos realizado cambios en la lista de horas, habrá que pulsar el botón “ACTUALIZAR” para enviar al microcontrolador la nueva lista de horas a las que queremos que se tomen las muestras. Este mensaje irá acompañado de la cabecera “B1” para que el microcontrolador sepa que el contenido del mensaje que sigue a “B1” son las nuevas horas de configuración. Cuando pulsamos el botón “ACTUALIZAR”, además de reemplazar las horas de configuración, cuando ya se ha realizado este proceso, vuelve a recorrer el array que contiene los nuevos datos de las horas de configuración y los envía a la aplicación con el mismo formato con el que se recibía la información “COHH:MM”.

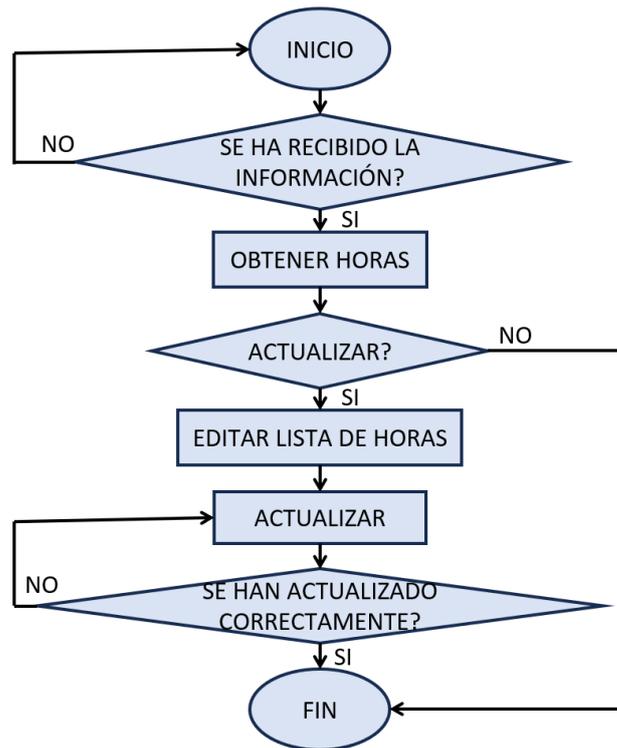


Ilustración 41 - Diagrama de bloques del fragmento de Configuración de horas.

Por último, se añadió la sección para las conexiones MQTT. Este apartado está preparado para poder conectarse a un servidor, que se ha de predefinir en el código de Android Studio, a través del botón “CONECTAR”, o también puede conectarse a cualquier servidor a través del botón “CONNECT TO ANOTHER SERVER”. Al hacer clic sobre el último botón se abre un menú donde se van a poder añadir los nuevos datos necesarios para la nueva conexión. La idea para esta parte es que, todos los módulos como el que se está llevando a cabo en este proyecto, estén conectados a un servidor en común donde vayan publicando los archivos que se van guardando en las tarjetas microSD de tal manera que si se quiere extraer información de otro módulo podamos hacerlo a través de esta sección.

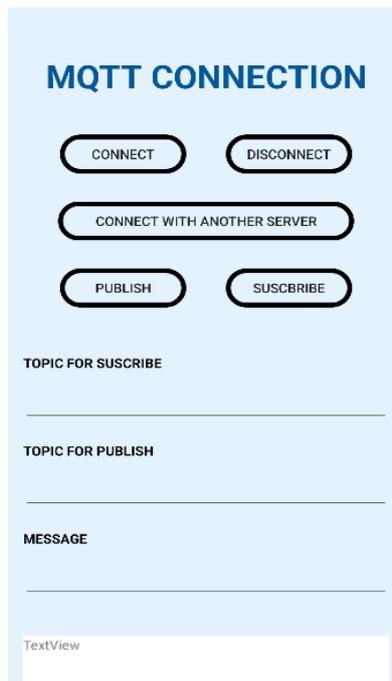


Ilustración 42 - Sección para conexiones MQTT.

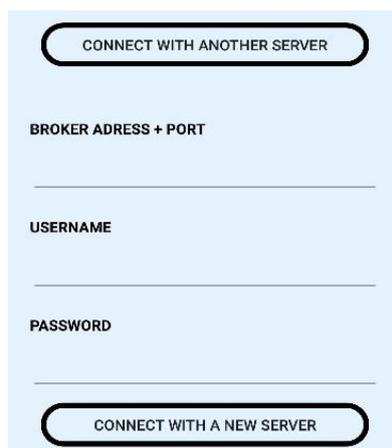


Ilustración 43 - Menú que aparece al pulsar sobre el botón "CONNECT WITH ANOTHER SERVER".

#### 7.4. PRUEBA

Primero comprobé que el fragmento de conexión Bluetooth funcionase. Para eso, realicé los mismos pasos que en la primera prueba y comprobé que funcionaba correctamente.

Para la siguiente prueba dejé el módulo conectado cuatro días para comprobar si el funcionamiento de guardar los datos en distintos archivos de texto según el día funcionaba, y como podemos observar en las ilustraciones de abajo, tenemos dos carpetas con los nombres "Temperatura" y "Humedad", y dentro, cuatro archivos de texto con sus correspondientes fechas.

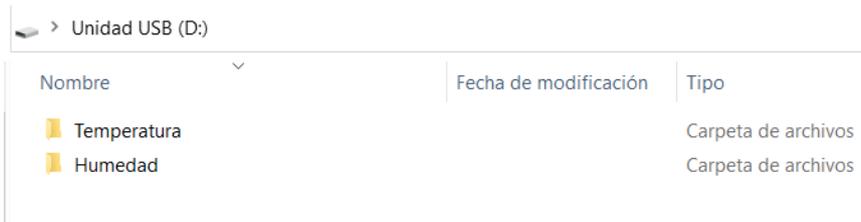


Ilustración 44 - Carpetas de la microSD donde se guardan los datos medidos por el sensor.

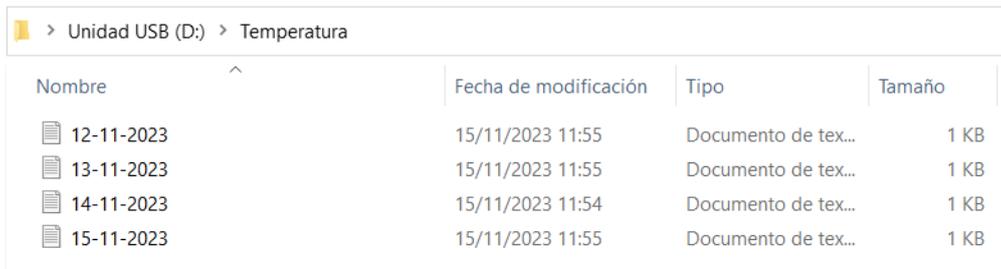


Ilustración 45 - Datos de temperatura guardados en diferentes archivos de texto según el día en el que se han tomado.

Para comprobar que se podía visualizar los datos de temperatura y humedad, como se habían tomado muestras los días 12, 13, 14 y 15, escogí el día 13 de noviembre en el calendario, pulsé “OK” y seguidamente el botón “OBTENER INFO”. Como podemos observar posteriormente, se pudieron visualizar los datos de temperatura y humedad.



Ilustración 46 - Captura de verificación para la extracción de datos de la microSD.

En el fragmento de configuración, si terminase de subir el programa al microcontrolador y pulsase el botón “OBTENER INFORMACIÓN”, la lista editable se vería vacía ya que no se ha preprogramado anteriormente ninguna hora para la toma de muestras. Pero en este caso, los cuatro días que dejé funcionando el microcontrolador, lo programé para que tomase muestras a las 10:00, 10:01, 10:02 y a las 10:03. Por lo que como podemos comprobar en la siguiente

ilustración, cuando pulsé el botón “OBTENER INFORMACIÓN” obtuve las anteriores horas en la lista editable.



Ilustración 47 - Captura de verificación para las horas de configuración.

Y para terminar en esta sección, para comprobar el funcionamiento para actualizar las horas de configuración, edité la lista con las horas 12:00, 18:00 y 23:00, pulsé el botón “ACTUALIZAR”, volví a hacer clic en el botón “OBTENER INFORMACIÓN” y comprobé que el funcionamiento era correcto ya que las horas que se visualizaban en la lista editable eran las nuevas.

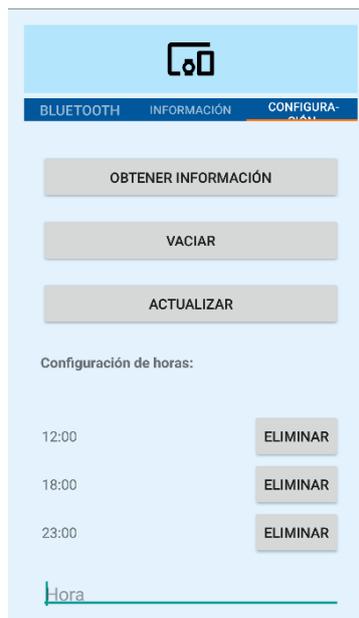


Ilustración 48 - Captura de verificación para el cambio de horas de configuración.

## 8. PRESUPUESTO

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (€)
HELTEC Wi-Fi LoRa 32 (v2)	1	26,95€	17,36€
DHT22 (sensor)	1	6.95€	6.95€
CABLES	10-15	0.05€	0.5€
TTGO	1	24.75€	24.75€
ORDENADOR	1	150€	150€
MICRO SD ADAPTER	1	1,36€	1,36€
TARJETA MICRO SD	1	7,95€	7,95€
HORAS DEL ALUMNO	280	20€/h	3360€

## 9. DIAGRAMA DE GANTT

Diseño de un sistema de monitorización y control de datos través de nodos LoRa accesibles desde una APP del teléfono móvil



Ilustración 49 - Diagrama de Gantt.

## 10. CONCLUSIONES

En conclusión, el proyecto se distingue por su enfoque meticuloso en el desarrollo y análisis de una aplicación de interfaz de usuario dedicada a la gestión y adquisición de datos meteorológicos a través de un sensor conectado a un microcontrolador ESP32. La simplicidad, como principio fundamental, facilita su accesibilidad a cualquier usuario, respaldada por una estructura de interfaz que garantiza una navegación clara y efectiva.

La implementación transparente de la conexión Bluetooth, esencial para el intercambio de datos entre la aplicación y el sensor, se lleva a cabo hábilmente mediante Android Studio. Cada paso, desde la vinculación inicial hasta la verificación de la conexión asegurando una experiencia de usuario intuitiva.

La elección estratégica de Android Studio como plataforma de desarrollo confiere al proyecto ventajas significativas al aprovechar sus características avanzadas y herramientas específicas para aplicaciones móviles Android. La inclusión de clases y APIs dedicadas al manejo de conexiones Bluetooth demuestra un profundo conocimiento de las capacidades de la plataforma, contribuyendo a la eficacia del desarrollo.

Las pruebas, realizadas tanto en el entorno de desarrollo como con dispositivos reales, respaldan la funcionalidad y confiabilidad de la aplicación. La conexión Bluetooth se establece de manera

efectiva, y tanto la extracción de datos desde el sensor como la configuración de las horas de muestreo se ejecutan conforme a las expectativas.

La integración de funciones MQTT añade versatilidad al proyecto, posibilitando conexiones a servidores externos para obtener datos de nodos LoRa adicionales. Esto refuerza la capacidad de expansión y colaboración entre diferentes módulos, enriqueciendo la propuesta de valor del proyecto.

En resumen, el proyecto logra la exitosa integración de tecnologías clave, como Bluetooth, ofreciendo así una solución completa y funcional para la gestión de datos meteorológicos. La exhaustiva documentación, los diagramas de bloques y las pruebas realizadas reflejan un enfoque metódico y sólido en todas las etapas del desarrollo, asegurando la viabilidad y eficacia del producto final.

Para concluir este trabajo, puedo decir que me ha parecido muy interesante realizar este proyecto ya que he aprendido muchísimo sobre el lenguaje de programación Java, Android Studio y manejar todos los dispositivos que se han utilizado en el curso de este trabajo. Empecé sin saber utilizar nada, y a día de hoy me siento más desarrollada en el mundo de la programación y con más soltura a la hora de plantear soluciones para un problema.

Considero que mi trabajo puede resultar útil para empresas que trabajen con módulos LoRa, ya que es bastante general y adaptable según las necesidades que tenga cada empresa, además de simplificar el trabajo de los empleados que se dediquen a instalar dichos módulos y no tengan experiencia con códigos. Por ejemplo, un usuario sin conocimiento de programación puede usar la aplicación desarrollada en este TFG para configurar las horas de recogida de muestras y recolectar estos datos en su móvil a través de una simple conexión Bluetooth.

## 11.ODS (Objetivos de desarrollo sostenible)

A continuación, tenemos las ODS más relacionadas con mi trabajo de final de grado y el anexo de las ODS ofrecido por la UPV.

ODS 9. CONSTRUIR INFRAESTRUCTURAS RESILIENTES, PROMOVER LA INDUSTRIALIZACIÓN INCLUSIVA Y SOSTENIBLE Y FOMENTAR LA INNOVACIÓN.

ODS 12. GARANTIZAR MODALIDADES DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLES.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

### Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster

Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030

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

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	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

## 12. REFERENCIAS

[1] Conceptos técnicos básicos que te ayudarán a entender LoRa y LoRaWAN (Low Power Wide Area Network) en pocos minutos. [Artículo en línea]. Publicado 14/06/2022, por Belcove Digital. Disponible en: <https://becolve.com/blog/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/>

[2] LoRa y LoRaWAN: conoce sus diferencias y ventajas. [Artículo en línea]. Publicado hace un año. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/lora-lorawan-diferencias-ventajas>

[3] 16 casos de uso de LoRaWAN en el mercado IoT! [Artículo en línea]. Publicado 30/12/2019. Disponible en: <https://www.mokosmart.com/es/lorawan-one-of-the-most-interesting-iot-technologies-on-the-market/>

[4] Test y despliegue de tecnología de comunicaciones LoRa para aplicaciones de Internet of Things. [Artículo en línea]. Publicado en Febrero de 2019. Disponible en: [https://oa.upm.es/54465/1/TFG\\_LAURA\\_DOPAZO\\_GONZALEZ.pdf](https://oa.upm.es/54465/1/TFG_LAURA_DOPAZO_GONZALEZ.pdf)

[5] Introducción a LoRaWAN. Visión general del protocolo de red LoRaWAN y sus partes. [Artículo en línea]. Publicado 05/06/2021. Disponible en: [https://www.gotoiot.com/pages/articles/lorawan\\_intro/index.html](https://www.gotoiot.com/pages/articles/lorawan_intro/index.html)

[6] Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 2.-Tipos de Clases de Clases de Nodos. [Artículo en línea]. Publicado 02/10/2017. Disponible en: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-capitulo-2-tipos-y-clases-de-nodos-3856aba0e5be>

[7] Implementación del protocolo Bluetooth para la conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos programables. [Artículo en línea]. Disponible en: [Dialnet-IMPLEMENTACIONDELPROTOCOLOBLUETOOTHPARALACONEXIONI-4844849.pdf](#)

[8] Cima 10 Sensor LoRaWAN Fabricantes 2023. [Artículo en línea]. Publicado 20/03/2023. Disponible en: <https://www.mokolora.com/es/10-best-lorawan-sensor-manufacturers/>