

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPOS PARA TRANSMISIÓN  
INALÁMBRICA BASADOS EN TECNOLOGÍA LORA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA TRANSMISIÓN  
INALÁMBRICA DE RADIACION UV BASADO EN TECNOLOGÍA  
LORA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR  
EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

**LUIS HENRRY VILCA CASA**

**[luis.vilca@epn.edu.ec](mailto:luis.vilca@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: ANDRÉS FERNANDO REYES CASTRO**

**[andres.reyes@epn.edu.ec](mailto:andres.reyes@epn.edu.ec)**

**DMQ, marzo 2023**

## CERTIFICACIONES

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



---

**LUIS HENRRY VILCA CASA**

**luis.vilca@epn.edu.ec**

**luisvilcab2@gmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por LUIS HENRRY VILCA CASA, bajo mi supervisión.



---

**Andrés Fernando Reyes Castro**

**DIRECTOR**

**andres.reyes@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

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



---

**LUIS HENRRY VILCA CASA**

**luis.vilca@epn.edu.ec**

**luisvilcab2@gmail.com**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, especialmente a mis padres Luis y Carmen por el enorme sacrificio realizado desde el comienzo de mi carrera, por su dedicación y paciencia para inculcarme valores y principios que me permiten superar mis problemas y formarme como persona. También dedico este trabajo a mis hermanos por toda la atención y el apoyo brindado en cada decisión que he tomado en el transcurso de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento a mi madre por brindarme su apoyo tanto emocional como económico a lo largo de la realización de este trabajo. También quiero agradecer a mis familiares y amigos por sus buenos deseos y consejos que me ayudaron en mi formación académica.

Finalmente, a mis maestros/as y director de tesis quienes además de haber impartido sus clases demostrando amplios conocimientos y pasión por la enseñanza supieron brindarme apoyo moral para culminar mi carrera

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco Teórico.....	3
Radiación ultravioleta.....	3
Índice de radiación UV.....	3
Redes <i>Low Power Wide Area Networks</i> (LPWAN).....	4
<i>Long Range</i> (LoRa) .....	4
LoRaWAN.....	5
<i>Machine to Machine</i> (M2M) .....	5
<i>Internet of Things</i> (IoT) .....	6
Módulo sensor ML8511 .....	6
Módulo HELTEC (WIFI LoRa 32).....	6
Arduino IDE .....	7
2 METODOLOGÍA.....	7
3 RESULTADOS .....	8
3.1 Establecimiento de requerimientos del prototipo.....	9
3.2 Definición de componentes de hardware y software .....	9
Selección del módulo LoRa .....	9

Selección del módulo sensor UV .....	12
Selección de placa de desarrollo .....	14
3.3 Diseño del prototipo .....	15
Circuito electrónico .....	15
Diseño 3D del prototipo .....	16
Diagrama de flujo.....	18
3.4 Implementación del prototipo .....	20
Elaboración de la placa electrónica.....	20
Alimentación del prototipo.....	23
Módulo protector.....	25
Programación del módulo transmisor Heltec LoRa 32 .....	26
Programación del módulo receptor Heltec LoRa 32.....	28
Implementación del sistema.....	30
3.5 Pruebas de funcionamiento .....	31
Verificación de las medidas con fuentes adicionales .....	31
Pruebas de cambio del IUV .....	32
Pruebas en un ambiente sin presencia de obstáculos .....	33
Pruebas en un ambiente con presencia de obstáculos .....	34
4 CONCLUSIONES .....	36
5 RECOMENDACIONES .....	37
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
7 ANEXOS.....	41
ANEXO I: Certificado de Originalidad .....	i
ANEXO II: Enlaces .....	ii
ANEXO III: Códigos Fuente .....	iii

## RESUMEN

El presente Trabajo de Integración Curricular muestra la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica utilizando tecnología *Long Range* (LoRa) para transmitir mediciones de los niveles de radiación UV medido en diferentes ambientes.

La primera etapa está compuesta por una introducción al proyecto y la definición de los objetivos generales y específicos que deberá cumplir el prototipo a implementar. También se muestran conceptos generales que aportan al entendimiento de la funcionalidad de cada componente del mismo.

En la segunda parte se presenta el procedimiento y la metodología que se seguirá para cumplir con los objetivos establecidos para el proyecto.

El tercer punto expone los resultados obtenidos de la implementación del proyecto. Aquí se contienen los requerimientos fundamentales del sistema, la elección del sensor de radiación UV y los módulos microcontroladores, la elaboración de las placas electrónicas junto con su programación y por último las pruebas de funcionamiento del sistema.

Las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron después de la implementación del proyecto están contenidas en la cuarta y quinta sección.

**PALABRAS CLAVE:** LoRa, sensor UV, radiación UV, microcontrolador, placas electrónicas.

## ABSTRACT

*This project shows the implementation of a wireless communication system using Long Range (LoRa) technology to transmit information about UV radiation levels measured in different environments.*

*The first stage is composed of an introduction to the project and the definition of the general and specific objectives that the prototype must meet. General concepts that contribute to the understanding of the functionality of each component are also shown.*

*In the second part, the procedure and methodology that will be followed to meet the objectives established for the project is exposed.*

*The third point exposes the results obtained from the implementation of the project. Here are contained the fundamental requirements of the system, the choice of the UV radiation sensor and the microcontroller modules, the elaboration of the electronic boards together with their programming and finally the functional tests of the system.*

*The conclusions and recommendations that were reached after the implementation of the project are contained in the fourth and fifth section.*

**KEYWORDS:** *LoRa, UV sensor, UV radiation, microcontroller, electronic boards.*

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Se ha desarrollado un sistema de transmisión de datos de manera inalámbrica para indicar el nivel de radiación ultravioleta a la que está expuesta una determinada zona. Este sistema cuenta con dos dispositivos que actúan como transmisor y receptor, los cuales realizan tareas de lectura y transmisión de datos utilizando tecnología LoRa tal como se aprecia en la Figura 1.1.

El índice de radiación que se obtiene desde el dispositivo transmisor es medido por el sensor ML8511 y los parámetros que determinan el tiempo de medición, el procesamiento y envío del dato están a cargo del módulo Heltec LoRa 32. Este módulo realiza la conversión de la radiación ultravioleta que se mide desde el sensor y, con la ayuda de un nodo LoRa SX1276, envía el índice de radiación UV para determinar los niveles de riesgo frente a la exposición. Para esto, el módulo Heltec se encarga de habilitar la comunicación LoRa en el lado del transmisor colocándolo en modo maestro. El índice medido y el estado de envío es mostrado en la pantalla OLED del módulo.

En el lado de la placa receptora solo se tiene un módulo Heltec lora 32 de modo que este se limita a detectar los mensajes que recibe para después mostrarlos en su pantalla OLED. Para esto el módulo pone a la placa receptora en un modo de esclavo activando la comunicación LoRa y dejando al dispositivo en modo de escucha. Este proceso se muestra por medio de un mensaje de espera en la pantalla OLED y cambiará cuando la placa receptora haya encontrado un nuevo mensaje. La configuración que se ha designado a este sistema permite tener conocimiento en tiempo real sobre el estado del índice UV.

El uso de la tecnología LoRa y la composición de las placas electrónicas hacen de este un sistema portátil por lo que las mediciones no se realizan en un lugar en específico, sino que brinda la facilidad de transportarse libremente. El uso de este sistema sirve para advertir a la población sobre el riesgo al que están expuestos al ponerse en contacto con la radiación UV.



**Figura 1.1** Funcionamiento del sistema desarrollado

## **1.1 Objetivo general**

Implementar un prototipo para transmisión inalámbrica de radiación UV basado en tecnología LoRa.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Establecer los requerimientos del prototipo para la transmisión y recepción inalámbrica de radiación UV usando tecnología LoRa.
- Definir los componentes de hardware y software para la transmisión y recepción inalámbrica de radiación UV usando tecnología LoRa.
- Diseñar el prototipo del transmisor y receptor.
- Implementar los prototipos.
- Realizar pruebas de funcionamiento de los prototipos analizando la distancia, así como la integridad de los datos transmitidos.

## **1.3 Alcance**

El presente trabajo tiene como finalidad crear un prototipo el cual, por medio de un sensor, mida e indique el nivel de radiación ultravioleta (UV) que existe en una zona mediante comunicación inalámbrica. El primer paso es realizar la selección de los componentes del prototipo de modo que se garantice un correcto funcionamiento. Para ello se realizará una investigación comparativa entre los elementos y equipos disponibles en el mercado. Así mismo el trabajo incluye:

- El diseño del modelo en 3D del prototipo realizado en plataformas de creación de placas de circuito impreso en donde, es posible visualizar los componentes y la distribución de espacios del modelo a implementar.
- Los cálculos necesarios para su correcto funcionamiento.
- Un diagrama de flujo donde se refleje progresivamente el funcionamiento del código, el cual permite que el hardware y software del prototipo interactúen entre sí logrando con la medición y transmisión de los niveles de radiación UV.

Para la implementación del prototipo se debe tener en cuenta dos placas electrónicas que actúen como transmisor y receptor de los datos recolectados por el sensor, brindando estabilidad en la transmisión y guardando estética en las mismas.

Otro aspecto que se tomará en cuenta es el contraste entre los datos transmitidos y recibidos en las pruebas de funcionamiento, considerando que, en el uso de tecnología LoRa aspectos como la distancia y los obstáculos del medio pueden crear un margen de error y este no debe perjudicar la fidelidad del dato transmitido.

## 1.4 Marco Teórico

### Radiación ultravioleta

La radiación UV es un tipo de radiación electromagnética cuyas longitudes de onda comprenden los 100 y 400 (nm), por lo que se halla en medio de la región visible y la región de rayos X del espectro electromagnético [1]. La sobreexposición de radiación UV tiene efectos negativos en la salud del ser humano, llegando a afectar la piel, los ojos y el sistema inmunológico, siendo la quemadura de piel o eritema la más común [2].

### Índice de radiación UV

La radiación UV se encuentra dividida en 3 regiones, cada una de estas regiones presenta las siguientes características y efectos [3]:

- **UV-A:** las longitudes de onda comprenden valores de 315 a 400 (nm), es conocida también como luz negra y se caracteriza por ser la menos perjudicial para las personas.
- **UV-B:** las longitudes de onda comprenden valores de 280 a 315 (nm), posee la energía suficiente para dañar capas biológicas. Una parte de esta radiación es bloqueada por la atmósfera.
- **UV-C:** las longitudes de onda comprenden valores de 100 a 280 (nm), los fotones de radiación UV-C que proviene del sol se pierden en la atmósfera para formar ozono por lo que no están presentes en la superficie terrestre.

La radiación UV proveniente del sol puede llegar a medirse por su intensidad y el valor obtenido se conoce como índice UV solar (IUV). Este índice se expresa con valores superiores al cero, de modo que mientras estos aumentan el riesgo de exposición es mayor tal como se observa en la Tabla 1.1 [3].

**Tabla 1.1** Niveles de riesgo frente a la exposición de radiación UV [3]

Riesgo	IUV
Bajo	Menor a 2
Moderado	3 a 5
Alto	6 a 7
Muy alto	8 a 10
Extremadamente alto	Mayor a 11

El IUV llega a ser variable a lo largo del día dependiendo de factores como el posicionamiento del sol, la altitud, la latitud, la presencia de nubes, el nivel ozono presente en la atmosfera y la reflexión terrestre [4].

### **Redes *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN)**

LPWAN son redes diseñadas para manejar sistemas de comunicaciones de manera inalámbrica con una extensa área de alcance. Una de sus principales características es el bajo consumo de potencia y la capacidad de soportar varios nodos conectados a una estación base. Estas redes a su vez pueden ser manejadas con distintos tipos de tecnologías, por ejemplo: Sigfox, LoRa, LoRaWan, NB-IoT, LTE Cat M, etc. La velocidad que ofrecen estas redes alcanzan los 0.3 y 50 Kbps por lo que son bastante útiles para aplicaciones IoT y M2M [5].

### ***Long Range* (LoRa)**

LoRa es una tecnología utilizada para establecer comunicaciones inalámbricas con un consumo de batería ultra bajo y un largo alcance, llegando a conectar dispositivos en redes de hasta 15 (Km) de distancia. El factor que se verá disminuido tras el uso de esta tecnología es la velocidad de transmisión de datos debido al ruido que presente el medio. LoRa trabaja con un rango de frecuencias por debajo de los 1 (GHz) pertenecientes a las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) por lo cual su uso es libre y no requiere de ninguna licencia. La banda ISM se divide en tres grupos dependiendo la zona Geográfica [6].

- América: 915 (MHz).
- Asia: 430 (MHz).
- Europa: 433 y 868 (MHz).

## LoRaWAN

LoRaWAN es un protocolo de comunicación bidireccional que trabaja con una arquitectura basada en redes LPWAN. Por ser bidireccional es posible que los Gateways, o también llamados concentradores, recibían continuamente varios mensajes por los canales disponibles. Este protocolo especifica tres diferentes clases de dispositivos como se observa en la Figura 1.2. Por defecto todos los dispositivos LoRaWAN tienen las funciones de la Clase A [5].



**Figura 1.2** Clases de dispositivos de LoRaWAN [5]

- **Clase A:** se establece la comunicación bidireccional, pero solo recibe datos siempre que se haya anticipado la comunicación. Tras cada transmisión se abren de manera consecutiva 2 ventanas de recepción, la primera un segundo después de la transmisión y luego la segunda que está a la espera del mensaje de retorno.
- **Clase B:** esta clase si es capaz de recibir mensajes pese a no existir una conexión previa, puesto que se puede configurar los tiempos para abrir las ventanas de recepción.
- **Clase C:** poseen un tiempo de recepción continuo, por lo que siempre están disponibles para recibir mensajes. Las ventanas de recepción en esa clase permanecen cerradas cuando se está transmitiendo [5].

### ***Machine to Machine (M2M)***

M2M es un concepto utilizado para hacer referencia a aquellas tecnologías capaces de hacer que los dispositivos pertenecientes a una red puedan intercambiar información y desarrollar tareas sin intervención de los seres humanos [7]. Los sistemas M2M conforman un sub-área de IoT, por esta razón, aquellas aplicaciones que utilizan una comunicación de este tipo tienen una alta presencia en escenarios como redes inteligentes, gestión y monitoreo del medio ambiente, ciudades inteligentes, industrias, transporte inteligente, entre otras [8].

## ***Internet of Things (IoT)***

IoT hace referencia a la interconexión de diferentes dispositivos incorporados a elementos de uso cotidiano, utilizando al Internet como medio para intercambiar información entre sí y lograr un objetivo en común. Esta interconexión puede darse por medios inalámbricos como la utilización de tecnologías celulares, aumentando la cantidad de dispositivos interconectados [9]. Los entornos de este tipo normalmente requieren de elementos fundamentales como un sensor destinado a detectar y registrar la información, un procesador que la gestione y conectividad disponible para compartirla [10].

### **Módulo sensor ML8511**

El módulo sensor ML8511 es un dispositivo que detecta la luz ultravioleta que existe en un ambiente. Funciona por medio de una salida analógica en donde se envía una tensión, también analógica, en relación con la cantidad de luz UV detectada. Esta tensión guarda una relación lineal con la intensidad UV ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ), de modo que, si el microcontrolador con el que trabaja puede hacer una conversión analógica digital, se puede conocer el índice UV. El módulo presentado en la Figura 1.3 es capaz de detectar longitudes de onda que van desde los 280 a 390 (nm) [11].



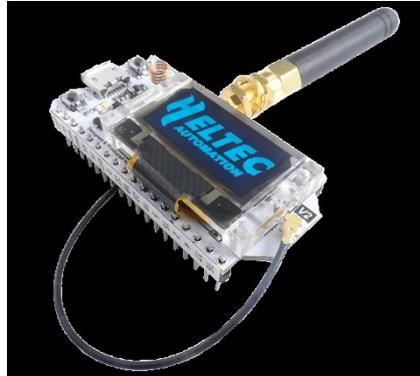
**Figura 1.3** Módulo sensor de rayos UV ML8511 [11]

### **Módulo HELTEC (WIFI LoRa 32)**

Este módulo está integrado por varios microprocesadores para lograr un dispositivo compacto que realice distintas tareas de proceso de datos y envíe de los mismos usando comuniones inalámbricas [12]. Sus componentes y características principalmente son las que se enlistan a continuación, además algunos de dichos componentes se observan a simple vista en el módulo tal como se ve en la Figura 1.4.

- Microcontrolador ESP32
- Chip LoRa SX1276
- Interfaz serial micro USB CP2102
- Tecnologías Wifi, Bluetooth y LoRa integrado
- Pantalla OLED de 128 \* 64 de 2.44 (cm) integrada

- Admite a Arduino como entorno de desarrollo
- Soluciones e implantaciones en el ámbito IoT
- Antena de metal de 2,4 (GHz)



**Figura 1.4** Modulo Heltec LoRa 32 [12]

### **Arduino IDE**

Arduino es una plataforma que integra hardware y software con el fin de desarrollar proyectos de electrónica, teniendo como premisa el uso de hardware libre. Arduino está basado en una placa con entradas y salidas, tanto analógicas como digitales, manejadas por un microcontrolador, el cual junto a un entorno de desarrollo permite crear sistemas de procesamiento y control. Los elementos principales que definen de forma práctica a Arduino son hardware, software y la comunidad que lo mantiene, es decir los usuarios [13].

## **2 METODOLOGÍA**

Para empezar, se determinó los requerimientos más adecuados para que el sistema sea capaz de transmitir datos en frecuencias no licenciadas, teniendo en cuenta que los mecanismos de alimentación no afecten su desempeño y hagan del transmisor y receptor dispositivos portátiles. De esta manera los datos recolectados desde el sensor son obtenidos desde cualquier zona.

Posteriormente, tras realizar la respectiva comparación de dispositivos, se seleccionó los componentes de hardware y software más adecuados para cumplir con los requerimientos del sistema.

Para implementar del sistema se realizó la etapa de diseño en donde, por medio del programa Proteus, se crearon modelos en 3D del prototipo y diseños de diagramas PCB

de los circuitos electrónicos. Así mismo se elaboró un diagrama de flujo destinado a explicar el código de programación desarrollado.

Por medio de la implementación, se desarrollaron dos placas electrónicas utilizadas como transmisor y receptor. Para esto se utilizó la técnica de planchado sobre una baquelita de cobre, se la taladró y posteriormente se soldaron los componentes necesarios a esta. Para concluir con las placas, a cada módulo se programó con su respectivo código para distinguir entre transmisor y receptor.

Finalmente, para corroborar el correcto funcionamiento, se sometió al prototipo a una fase de pruebas en donde, se verificó con fuentes externas que las mediciones obtenidas y transmitidas, considerando variaciones de distancia y obstáculos, son las correctas y están dentro de un margen de error permitido.

### **3 RESULTADOS**

Tras implementar el prototipo diseñado, el sistema transmite datos basándose en tecnología LoRa, y mediante la utilización de bandas no licenciadas, se trabaja a largas distancias de alcance y un bajo consumo de batería. En el lado del transmisor, los datos son recolectados por el sensor de radiación UV ML8511 tras ser colocado en un área donde pueda detectar luz solar. Estos datos son procesados por el microprocesador ESP32 mostrando así el IUV en una pantalla OLED de 0.96 pulgadas. Después, los datos son enviados hacia el receptor de manera inalámbrica por medio del nodo LoRa SX1276. En el lado del receptor, ayudado del mismo nodo y microprocesador, recibe, procesa y muestra en su pantalla OLED el IUV medido en el transmisor. El receptor a su vez, por medio de un semáforo de colores, advierte el nivel de riesgo que existe frente a la exposición de IUV recibido. El desarrollo del sistema está compuesto por cinco etapas:

- Primera etapa: investigación y definición de los requerimientos del sistema.
- Segunda etapa: adquisición de hardware y software más adecuados.
- Tercera etapa: diseño del prototipo.
- Cuarta etapa: implementación del sistema.
- Quinta etapa: realización de pruebas de funcionamiento.

### **3.1 Establecimiento de requerimientos del prototipo**

El prototipo a implementar deberá contar con dos placas electrónicas que funcionen como transmisor y receptor. Ambas placas deberán intercambiar información utilizando tecnología LoRa y la banda de 915 (MHz), de esta manera se operará en frecuencias pertenecientes al espectro no licenciado [6]. Se podrá realizar la lectura del IUV y esta servirá para advertir a las personas sobre el riesgo existente frente a la exposición.

Es necesario que los datos de IUV sean visualizados tanto en el transmisor como en el receptor, de esta manera este será visible desde ambos lados de la transmisión. Además, los datos recibidos deberán ser lo suficientemente legibles. El sistema deberá realizar mediciones constantes, por lo cual, si existiese un cambio en el valor del IUV este se reflejará en ambas pantallas con un pequeño tiempo de retardo.

Los mecanismos de alimentación deberán establecerse de tal manera que el prototipo sea un sistema portátil y no afecte el rendimiento del mismo. Para la fase de pruebas todo el sistema deberá estar salvaguardado en una caja de protección con tales dimensiones que, el prototipo guarde estética y a la vez sea fácil de transportar por distintas zonas. De este modo, la información deberá transmitirse en tiempo real entre ambos dispositivos brindando una fácil interpretación de la misma.

### **3.2 Definición de componentes de hardware y software**

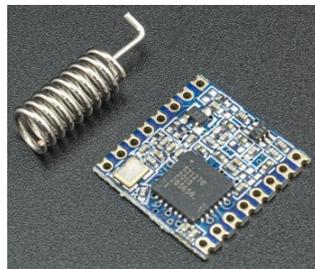
#### **Selección del módulo LoRa**

En el área de IoT existen varios módulos con los que es posible implementar tecnología LoRa, la cual es la base de los requerimientos del prototipo. Por medio de un análisis de los módulos, se indican las características que guardan en común, así como sus dimensiones, el consumo energético, la frecuencia de trabajo, el voltaje de operación, etc. Para la selección definitiva del módulo analizaron y compararon los requerimientos principales del sistema, razón por la cual se tuvo presente las características de los siguientes módulos: módulo transceptor LoRa SX1276, módulo transceptor LoRa RYLR998 y módulo Heltec LoRa 32. Las características de cada módulo se presentan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Comparación módulos LoRa [14] [15] [12]

Descripción	LoRa SX1276	LoRa RYLR998	Heltec LoRa 32
<b>Microcontrolador</b>	-	Nuvoton MCU	ESP32 (dual-core 32-bit MCU + ULP core)
<b>Voltaje</b>	1.8 – 3.7 (V)	1.8 – 3.6 (V)	3.3 – 6 (V)
<b>Frecuencia</b>	137 - 1020 (MHz)	820 – 960 (MHz)	863 – 928 (MHz)
<b>Temperatura</b>	+25 (° C)	-40 ~ 85 (° C)	-40 ~ 85 (° C)
<b>Potencia de salida</b>	20 (dBm)	22 (dBm)	19 (dBm)
<b>Sensibilidad</b>	-134 (dBm)	-129 (dBm)	-135 (dBm)
<b>Corriente de reposo</b>	0.2 (uA)	15 (uA)	800 (uA)
<b>Corriente de transmisión</b>	120 (mA)	140 (mA)	130 (mA)
<b>Corriente de recepción</b>	12 (mA)	17.5 (mA)	12 (mA)
<b>Dimensiones</b>	16 x 16 (mm)	14.6 x 17.4 (mm)	50.2 x 25.5 (mm)

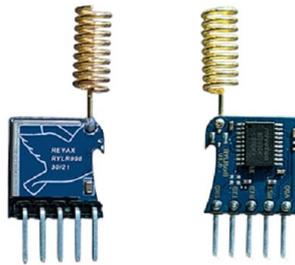
El módulo transceptor LoRa SX1276 está equipado con un modem LoRa el cual hace más factibles y robustas las transmisiones a largas distancias, además, el módulo trabaja indistintamente con cualquier microcontrolador. Por este último detalle, es muy preferido en proyectos con aplicaciones en IoT como automatizaciones de hogares y control industrial [14]. Su diseño junto con la distribución de pines, mostrada en la Figura 3.1, hacen de este módulo un elemento compacto, lo cual facilitará su implementación, pero será necesario adquirir un microcontrolador externo para conectarlo en los respectivos pines y que así pueda funcionar.



**Figura 3.1** Módulo transceptor LoRa SX1276 [14]

Por otra parte, se tiene al módulo LoRa RYLR998 que también proporciona grandes distancias de alcance con un bajo consumo energético. La diferencia con el anterior módulo está en que este si posee un pequeño microcontrolador *NUVOTON* el cual

puede visualizarse en la Figura 3.2. Este microcontrolador puede ser controlado mediante comandos emitidos desde Arduino [16] y, por ende, hace que el módulo tenga una mayor dimensión, pero aunque pudiera disminuir el espacio y el costo que representaría integrar un microcontrolador para el módulo LoRa, el RYLR998 no cumple con el resto de requerimientos del prototipo. Adicionalmente, la adquisición de este módulo representa una desventaja ya que su distribución es muy escasa.



**Figura 3.2** Módulo transceptor LoRa RYLR998 [16]

El módulo Heltec LoRa 32 mostrado en la Figura 3.3 presenta más características que se apegan a los requerimientos del proyecto. Este módulo cuenta con un chip LoRa SX1276 el cual trabaja en las banda de 915 MHz y tiene como microprocesador un ESP32 [12]. Además de estos componentes, el módulo Heltec también cuenta con una pantalla OLED de 0.96 pulgadas en la cual se puede visualizar los resultados de los procesos llevados a cabo por el microcontrolador. La utilización de este módulo es una ventaja a la hora de armar el prototipo ya que sus cortas dimensiones, para todos los componentes que posee, hacen del prototipo final un modelo compacto y estético permitiéndole la posibilidad de ser transportados sin inconvenientes.



**Figura 3.3** Módulo Heltec LoRa 32 con antena integrada [12]

Por lo tanto, el módulo LoRa seleccionado para establecer una conexión a larga distancia con un consumo bajo de energía para el proyecto es el Heltec LoRa 32. Un módulo ideal para hacer del prototipo final un elemento compacto y portátil, que gracias a su antena integrada alcanza mejores distancias. Además, su compatibilidad con la plataforma Arduino y otros elementos que lo componen permite procesar y visualizar la información de mejor manera.

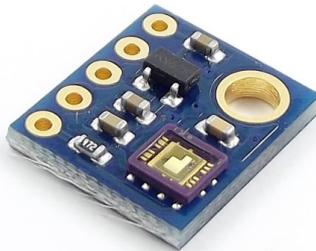
### Selección del módulo sensor UV

Para la elección del sensor de radiación UV se toma en cuenta el rango de la longitud de onda que son capaces de detectar, el consumo energético y las dimensiones que alcanzan con su respectivo módulo. Bajo estos parámetros se analizaron los datos encontrados de aquellos módulos que se apegaban más a los requerimientos del proyecto, datos que están presentes en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Comparación de Módulos sensores UV [17] [18] [19] [20] [21]

Descripción	ML8511	GUVA-S12SD	GUVA-S12SD + Grove
Voltaje	3.3 – 4.6 (V)	3.7 – 5.5 (V)	3.0 – 5.1 (V)
Longitud de onda	280 - 390 (nm)	200 - 370 (nm)	240 - 370 (nm)
Temperatura	-20 ~ 70 (° C)	-20 ~ 85 (° C)	-30 ~ 85 (° C)
Corriente	0.30 (mA)	5 (mA)	0.31 (mA)
Numero de pines	5	3	4
Precio	\$9.40	\$7.95	\$56.16
Dimensiones	12 x 12 (mm)	20 x 15 (mm)	20 x 20 (mm)

El primer módulo, mostrado en la Figura 3.4 , es el ML8511 el cual, coincide con los requerimientos establecidos del proyecto. Sus dimensiones, voltaje de trabajo y consumo de corriente, hacen de este módulo una elección pertinente para implementar en el prototipo, con el fin de obtener el tamaño, portabilidad y bajo consumo energético requeridos para el mismo. Por último, se tiene una adecuada medición del IUV que podría llegar a ser perjudicial para la salud de las personas ya que, este módulo puede medir longitudes de onda que va desde los 280 a 390 (nm) [17].



**Figura 3.4** Módulo sensor de luz UV ML8511 [17]

Por otro lado, el módulo sensor GUVA-S12SD es capaz de detectar longitudes de onda que van desde los 200 a 370 (nm). Estas longitudes están desfasadas con respecto a aquellas que representan un peligro frente a la exposición de radiación UV, por lo que se tiene una lectura limitada a la hora de advertir sobre del IUV. Como se observa en la Figura 3.5 el módulo sensor GUVA-S12SD cuenta con apenas 3 pines, pero esto no

representa una ventaja ya que, las dimensiones de este módulo superan al ya mencionado ML8511, alcanzado un tamaño de 20 x 15 (mm) [18]. Este módulo presenta mayor facilidad de conexión, pero demanda mayor espacio para el diseño final y puede generarnos lecturas limitadas por lo que no es una buena opción para implementar.



**Figura 3.5** Módulo Sensor GUVA-S12SD [18]

Finalmente, el módulo sensor UV perteneciente a la marca *Seeed Studio*, presenta características bastante apegadas a los requerimientos del sistema, pero también tiene el mismo inconveniente del módulo anterior. Las dimensiones del módulo presentado en la Figura 3.6 son más grandes que los anteriores módulos. La robustez, facilidad de conectar los pines con el conector *Grove* y compatibilidad con la plataforma *Arduino* [19], hacen de este módulo una opción con baja probabilidad de daños y menos esfuerzo para implementar al sistema, sin embargo se necesita más espacio en el diseño del prototipo y una mayor inversión económica debido a su elevado precio [20].



**Figura 3.6** Módulo sensor UV GUVA-S12SD marca *Seeed Studio* [20]

Por lo tanto, el módulo sensor UV seleccionado para el proyecto, es el ML8511. Este tendrá la capacidad de detectar las longitudes de onda que se han revisado previamente y demuestran ser dañinas para el ser humano. Su bajo consumo energético, diseño compacto y cortas dimensiones harán del prototipo final un dispositivo pequeño y fácil de transportar. Además, es fácil de adquirir en el mercado debido a su bajo precio y compatibilidad con plataformas de programación como *Arduino IDE*.

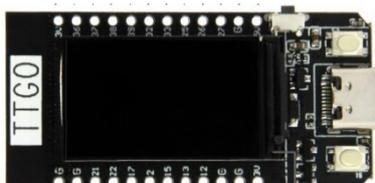
## Selección de placa de desarrollo

Los datos que se receptaran y enviaran por medio de los dispositivos anteriores, deberán ser controlados y procesados por una placa de desarrollo. Esta última debe ser compatible con el modulo LoRa seleccionado para establecer la comunicación inalámbrica. Además, debe permitir la incorporación de una pantalla en la que se reflejen los resultados obtenidos tras el envío y recepción de datos. Teniendo en cuenta estos requerimientos se presenta en la Tabla 3.3 las características de dos placas de desarrollo.

**Tabla 3.3** Comparación de placas de desarrollo [12] [22] [23] [24]

Descripción	Heltec LoRa 32	TTGo T-Display
<b>Voltaje</b>	3.3 – 6 (V)	2.7 – 4.2 (V)
<b>Chip LoRa</b>	SX1276/SX1278	-
<b>Temperatura</b>	-40 ~ 85 (° C)	-40 ~ 85 (° C)
<b>Microcontrolador</b>	ESP32 (dual-core 32-bit MCU + ULP core)	ESP32 single/dual-core 32-bit LX6
<b>SRAM</b>	520 kB	520 kB
<b>USB</b>	Tipo C	Tipo C
<b>Display</b>	OLED 0.96 (in)	IPS ST7789V 1.14 (in)
<b>Numero de pines</b>	36	24
<b>Precio</b>	\$ 52.70	\$ 32
<b>Dimensiones</b>	50.2 x 25.5 (mm)	51.5 x 25.4 (mm)

El TTGo T-Display mostrado en la Figura 3.7 es una placa de desarrollo compatible con la plataforma de desarrollo Arduino y que cuenta con una pantalla de 1.14 pulgadas donde se puede apreciar imágenes a color y por ende los datos que se transmiten y reciben. Esta placa tiene la capacidad de realizar conexiones Wi-Fi y *bluetooth* pero no cuenta con un chip LoRa [23] . Gracias a su compatibilidad con Arduino se podrá incorporar un módulo con chip LoRa para establecer la comunicación inalámbrica.



**Figura 3.7** Módulo microcontrolador TTGo T-Display [23]

La placa de desarrollo Heltec LoRa 32, ya presentada anteriormente, posee las características propuestas para cumplir con los requerimientos del prototipo. La parte

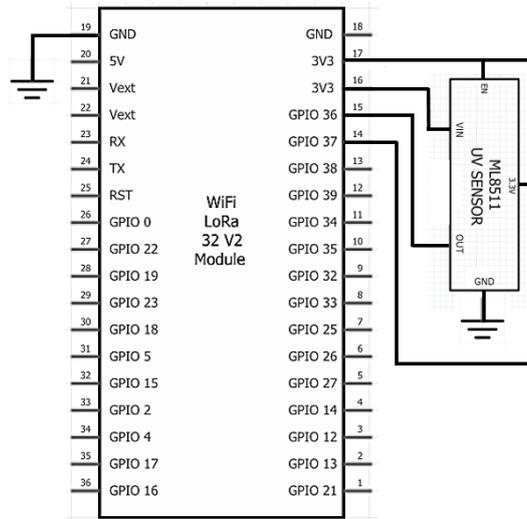
de transmisión y recepción implementando tecnología LoRa estaría cubierta gracias a su módulo SX1276 ya integrado en ella. El microprocesador ESP32 con el que cuenta se encargará del procesamiento de los datos enviados y recibidos y, por último, su pantalla OLED de 96 pulgadas presentará los datos del IUV en ambos lados de la transmisión.

En conclusión, se seleccionó a la placa de desarrollo Heltec LoRa 32 para encargarse del procesamiento y envío de los datos. Esta placa posee los elementos necesarios para economizar espacio en el prototipo final, para obtener un sistema portátil y fácil de transportar. Gracias a su microcontrolador y el módulo SX1276 tiene la capacidad de procesar y transmitir los datos mediante tecnología LoRa, mostrándolos también en su pantalla OLED. Esto evita la necesidad de incorporar más elementos al prototipo y por ende se disminuyen los costos de la implementación.

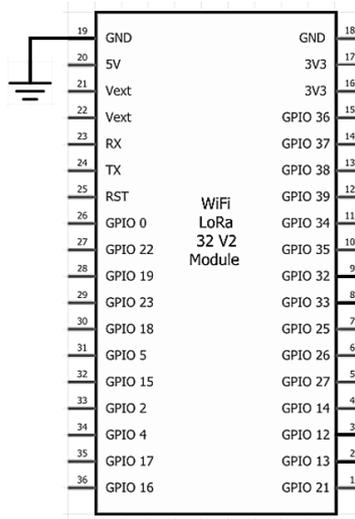
### **3.3 Diseño del prototipo**

#### **Circuito electrónico**

Los diseños de los circuitos electrónicos, tanto de la placa transmisora como receptora, fueron creados en la plataforma *Fritzing*. Este *software* tiene en sus librerías a los diseños esquemáticos del módulo Heltec LoRa 32 y tiene la posibilidad de cargar nuevos elementos que no se encuentran en ella. Gracias a esta última característica fue posible agregar al sensor ML8511, ya que fue necesario descargar su librería desde los repositorios del fabricante para colocarlo en el diseño. En la Figura 3.8 se presenta el circuito de la placa transmisora encargada de detectar y enviar el IUV ayudado del sensor UV. Así mismo en la Figura 3.9 se encuentra el circuito del receptor que procesa y muestra los datos.



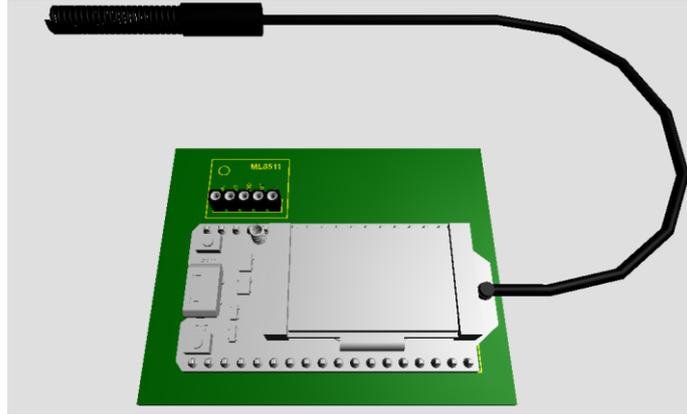
**Figura 3.8** Circuito del transmisor del sistema



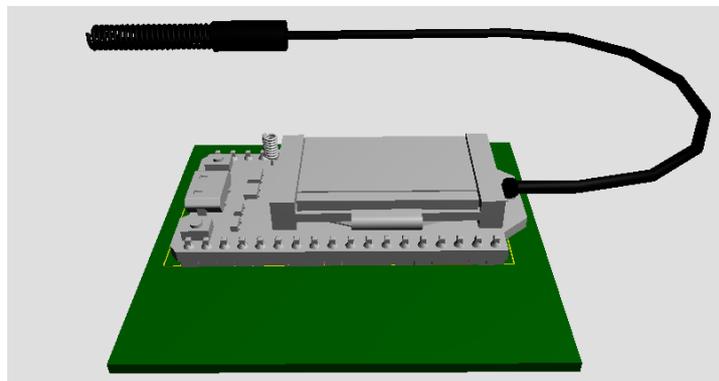
**Figura 3.9** Circuito del receptor del sistema

### Diseño 3D del prototipo

El diseño 3D del sistema fue creado a partir de las funciones de Proteus las cuales, pueden realizar simulaciones, modelado en 3D y diseño PCB de los circuitos que se arman con los elementos que están presentes en su librería o son añadidos a esta, siempre y cuando sean compatibles con el programa. No se utilizó la plataforma anterior debido a que esta muestra el diseño en 3D sobre una placa de pruebas o *protoboard*. Para la distribución de espacios en las placas finales se utilizó como base el diseño PCB del circuito teniendo como resultado pistas, microcontroladores y sensor con distribuciones adecuadas. De esta manera se obtuvieron placas compactas tal como se observa en la Figura 3.10 y Figura 3.11.

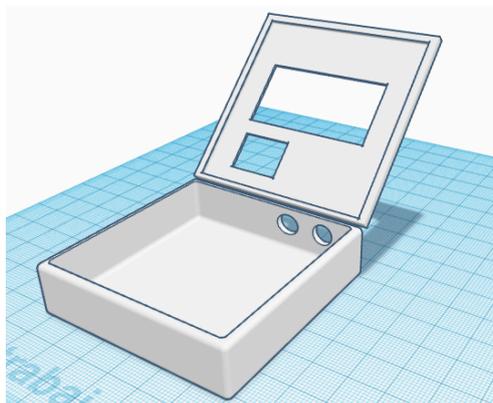


**Figura 3.10** Modelo 3D de la placa transmisora

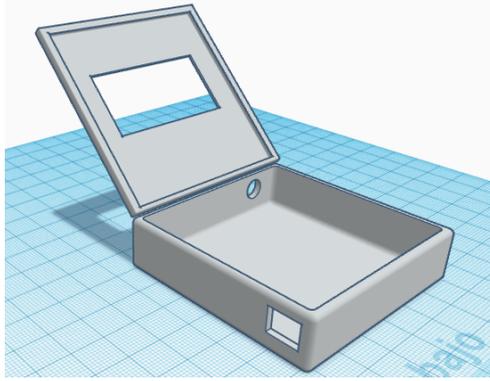


**Figura 3.11** Modelo 3D de la placa receptora

Por otro lado, para el diseño del módulo protector de las placas transmisora y receptora se utilizó el programa Tinkercad. Las diferentes funcionalidades de este programa permiten especificar las medidas, posiciones, rellenos, texturas y colores facilitando la creación de objetos sólidos con vistas en 3D de su diseño. Se consideró las dimensiones de las ambas placas electrónicas y se obtuvieron los módulos protectores de la placa transmisora, mostrado en la Figura 3.12 y, el diseño correspondiente a la placa receptora en la Figura 3.13.



**Figura 3.12** Diseño del módulo protector de la placa transmisora



**Figura 3.13** Diseño del módulo protector de la placa receptora

### **Diagrama de flujo**

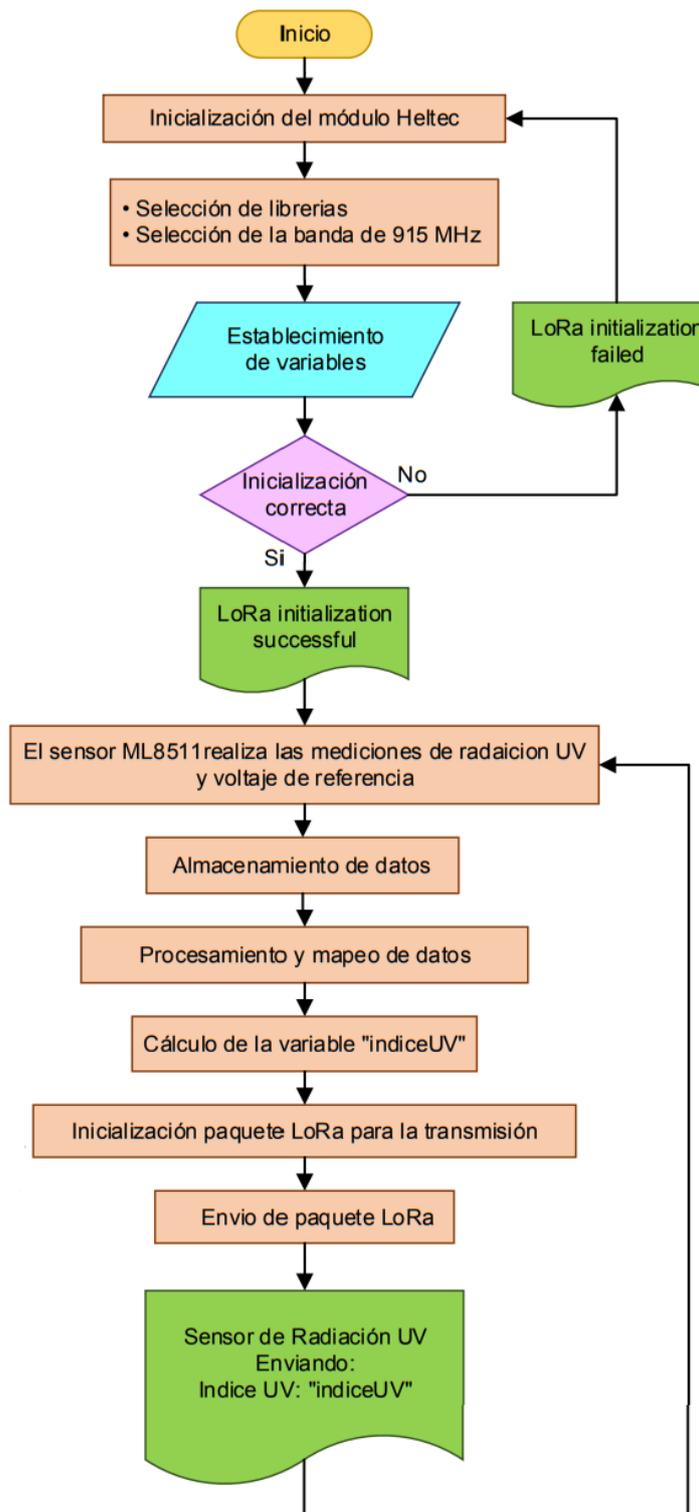
El prototipo funciona con dos códigos de programación que permiten la comunicación entre dos placas electrónicas que actúan como transmisor y receptor, teniendo cada una un código distinto. Para esto los códigos se ayudan de librerías, variables, funciones, entradas y salidas tanto analógicas como digitales. La función que desempeña cada código en su respectiva placa se detalla de mejor manera en los diagramas de flujo de la Figura 3.14 y Figura 3.15.

Al inicio del código se definen parámetros para que este funcione correctamente. De esta manera se establecen las variables de entrada que almacenan las lecturas del sensor, el dato que se envía y recibe, la librería del módulo Heltec y del sensor UV y por último la banda de frecuencias en la que opera el sistema. Tras encender ambas placas, declarar las variables, librerías y banda de trabajo, se inicializan los dos módulos LoRa y con un corto mensaje en cada una se advierte del estado de este proceso.

La placa receptora después ser inicializada, activa el modo “escucha” de la conexión e imprime un mensaje con el que indica estar a la espera de un mensaje. Con la ayuda de la función *If* se reconoce si se tiene un nuevo mensaje y en caso de no tenerlo, el mensaje de espera se mantiene. Cuando se detecta un nuevo mensaje, se establece una variable para almacenarlo y se imprime el valor del mensaje recibido en la pantalla OLED. Posterior a esto se vuelve a evaluar si existe un nuevo mensaje repitiéndose este proceso constantemente hasta apagar el módulo receptor.

Por otro lado, en la placa transmisora el sensor mide la radiación UV y los valores son enviados a una entrada analógica del módulo Heltec. El módulo almacena los datos en una variable y esta es procesada junto con los valores de voltaje referencial obtenidos del mismo sensor. Este resultado es mapeado y almacenado en una variable que representa la intensidad de radiación UV. Para enviar la información se inicializa un

paquete LoRa y en él se almacena la variable que contiene que el índice de radiación UV. Después, se finaliza el paquete LoRa y se envía la información. Este proceso se muestra en la pantalla OLED donde se imprime un mensaje con los datos que se miden y envían, repitiéndose este ciclo hasta que se apague el módulo transmisor.



**Figura 3.14** Diagrama de flujo implementado en la placa transmisora

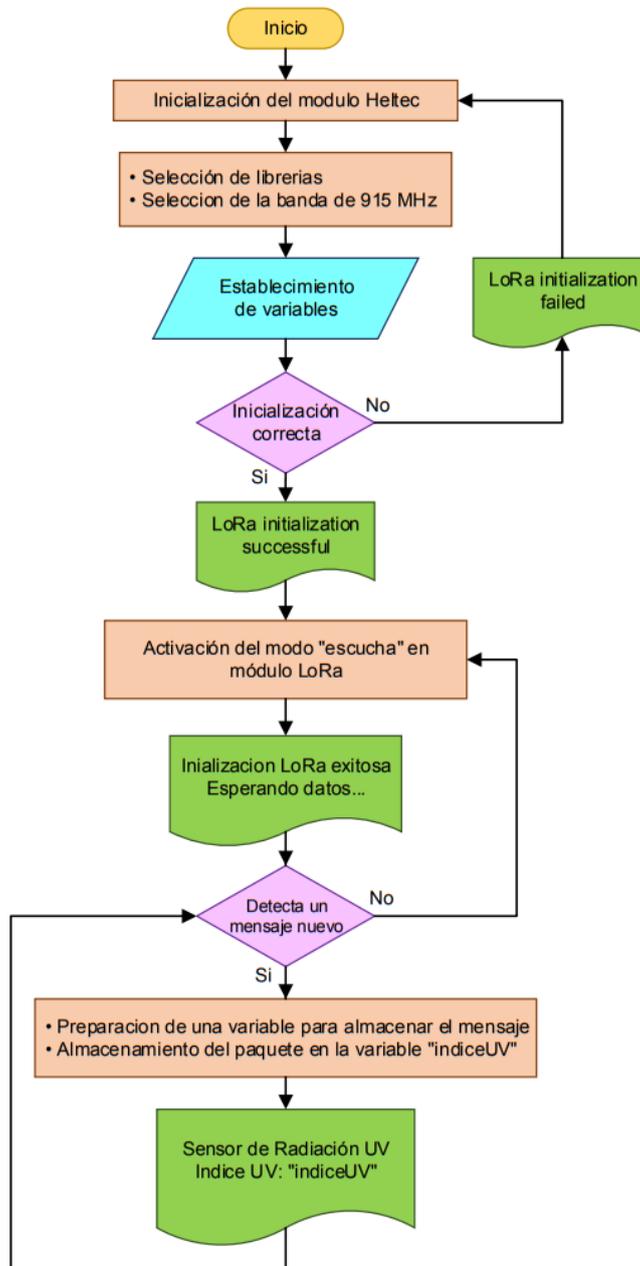


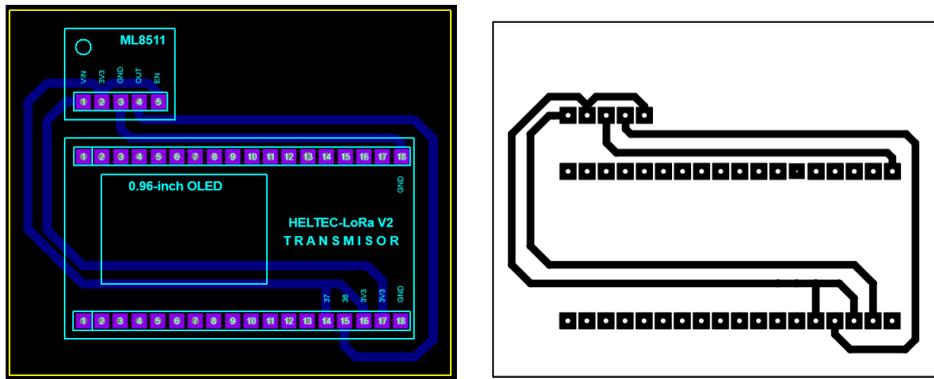
Figura 3.15 Diagrama de flujo implementado en la placa receptora

### 3.4 Implementación del prototipo

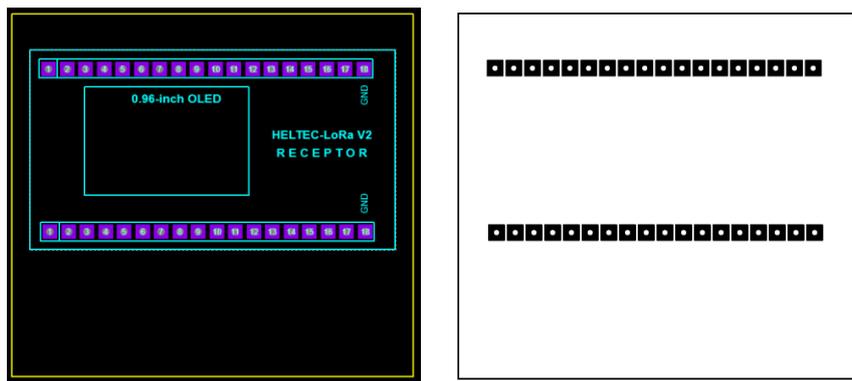
#### Elaboración de la placa electrónica

El diseño de las pistas del circuito electrónico a implementar fue desarrollado con el programa Proteus. Con la librería que dispone este software se seleccionaron los elementos que conforman ambas placas. Tanto para el sensor UV ML8511 y el módulo Heltec LoRa 32 fue necesario colocar *socktets* de 5 y 18 pines respectivamente. Esto debido a que Proteus no alberga en sus librerías a dichos elementos y los fabricantes de los mismos no cuentan con archivos compatibles para añadirlos a la librería.

A pesar de esto, las pistas que se diseñaron con estos *sockets*, y que se muestran en la Figura 3.16 y Figura 3.17, tienen las mismas dimensiones del sensor y microcontrolador en una escala real por lo que no existen problemas a la hora de planchar, perforar y soldar los elementos en las placas.



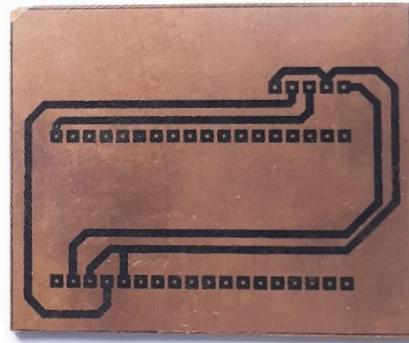
**Figura 3.16** Visualización del diseño PCB de la placa transmisora



**Figura 3.17** Visualización del diseño PCB de la placa receptora

Con el diseño PCB del circuito terminado y una impresora láser de precisión, se imprimirá el circuito en un papel de transferencia térmica, o papel *transfer* PCB, que permita adherir las pistas siguiendo la técnica del planchado a una baquelita con dimensiones de 5 x 6 (cm) tanto para el transmisor como para el receptor. Para esto, ambas baquelitas son cortadas y limpiadas con alcohol para evitar que cualquier impureza interfiera en la transferencia de las pistas aplicando el método del planchado.

Para este método se calienta una plancha en su máxima capacidad, después se coloca al circuito impreso sobre la baquelita de modo que, el lado que contiene las pistas este en contacto con la superficie de cobre. Se procede a planchar el papel sobre la baquelita en un tiempo aproximado de 5 minutos. Para terminar, se deja enfriar las placas y con ayuda de agua se retira el papel impreso sobrante, el resultado final se muestra en la Figura 3.18.



**Figura 3.18** Transferencia del circuito PBC por medio de la técnica del planchado

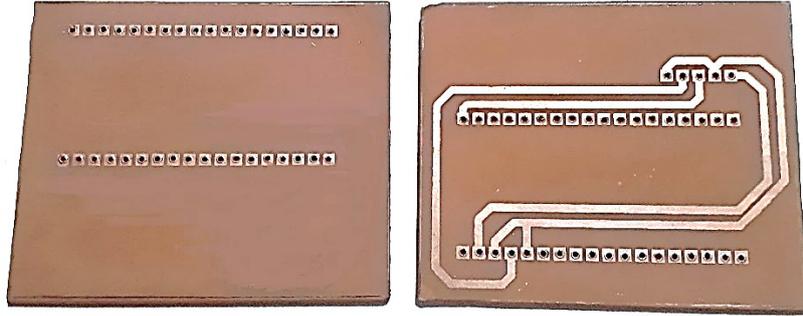
A continuación, se sumergen las baquelitas dentro en un recipiente de plástico con una mezcla de agua y cloruro férrico. Le tomaría un aproximado de 20 minutos a la mezcla remover todo el cobre de las baquelitas, salvo las pistas PCB que se transfiere, pero puede reducirse el tiempo si se remueve constantemente al recipiente.

Con la ayuda de un taladro de precisión, tal como se observa en la Figura 3.19, y una broca no mayor a 1 (mm) se perfora la placa en los lugares señalados por las pistas, de esta manera se asegura que los elementos del sistema puedan ser montados en la placa.



**Figura 3.19** Perforación de la baquelita

Con la ayuda de un quitaesmalte se borra el grabado de las pistas PBC, teniendo como sobrante únicamente a las pistas de cobre tal como se observa en la Figura 3.20.



**Figura 3.20** Revelado de las pistas PCB de la placa

Una vez finalizado el grabado y perforación del circuito PBC en las baquelitas, se colocan los microprocesadores y el sensor de tal manera que encajen en las respectivas entradas y salidas para su funcionamiento. Una vez montado los elementos, utilizando estaño y cautín, se sueldan los pines de estos a las pistas de la placa y se verifica la calidad del soldado tal como se observa en la Figura 3.21.



**Figura 3.21** Soldadura de los elementos a la baquelita

### **Alimentación del prototipo**

Las placas transmisora y receptora son alimentadas de manera independiente con baterías de litio utilizadas en los teléfonos celulares con dimensiones de 3.3 (cm) x 5.2 (cm) tal como las que se muestran en la Figura 3.22. Estas baterías poseen un voltaje de 3.7 (V), una capacidad de 3.6 (Wh) para usarse en el transmisor y 3.0 (Wh) para usarse en el receptor, debido a que el transmisor trabaja con el sensor UV y necesita mayor capacidad de energía. Estas características le permiten a las placas electrónicas trabajar con un mejor consumo energético y por mayor tiempo tal como se aprecia en la Ecuación 3.1.

$$Bt = \frac{Bc}{Cp}$$

**Ecuación 3.1** Duración de la batería [25]

Donde para el transmisor se tiene:

- Bl : (h) tiempo de vida de la batería en horas
- Bc : 3.6 (Wh) capacidad de la batería
- Cp : 0.17 (W) consumo de potencia

Usando la Ecuación 3.1 se obtiene:

$$Bl = 21 \text{ (h)}$$

Para el receptor se tiene:

- Bl : (h) tiempo de vida de la batería en horas
- Bc : 3.0 (Wh) capacidad de la batería
- Cp : 0.16 (W) consumo de potencia

Usando la Ecuación 3.1 se obtiene:

$$Bl = 18.7 \text{ (h)}$$



**Figura 3.22** Baterías de litio de 3.7 (V)

La conexión de las baterías a los módulos Heltec LoRa 32 se la realiza soldando un pequeño un conector de tipo *grove*, como el que se observa en la Figura 3.23, a los pines de la batería. Además, se adapta al puerto del módulo Heltec donde se conectan baterías de litio y distingue las polaridades de la batería entre positivo y negativo con los colores rojo y negro respectivamente por lo que, el prototipo se energiza correctamente.



**Figura 3.23** Conector *grove* de 2 pines [25]

### Módulo protector

El prototipo es un sistema fácil de transportar en ambientes abiertos con exposición al sol por lo que el sensor UV no tiene obstrucciones para realizar las mediciones y los resultados de dichas mediciones se reflejan en la pantalla. Por estos motivos se utilizaron dos cajas de plástico transparente, tal como la que se observa en la Figura 3.24, para colocar al transmisor y receptor. Las dimensiones de esta caja son lo suficientemente espaciosas para albergar y proteger en ella a las placas electrónicas junto con su respectiva batería.



**Figura 3.24** Módulo protector de las placas electrónicas

En este módulo de plástico se pudieron hacer los respectivos orificios para que el sensor quedara expuesto en su totalidad y además se puedan ver los resultados de las mediciones en la pantalla OLED del módulo Heltec. Adicionalmente, se hicieron orificios para colocar las antenas y un interruptor que es el encargado de energizar los módulos y por ende poner en marcha al sistema. En la placa receptora se colocó la Tabla 1.1 para facilitar la interpretación de la información que se recibe y en la Figura 3.25 se muestra los prototipos del módulo receptor y el módulo transmisor.



**Figura 3.25** Prototipos del receptor y transmisor del sistema

## Programación del módulo transmisor Heltec LoRa 32

La programación de los módulos tanto transmisor como receptor fue implementada con la plataforma Arduino IDE, el código de programación completo se encuentra adjuntado en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En esta plataforma se desarrolló y compiló el programa para hacer funcionar a los módulos junto con el resto de elementos del sistema.

Para el inicio del módulo trasmisor, se definen las librerías, la banda de trabajo para la transmisión y las variables de entrada para el sensor tal como se ve en la Figura 3.26.

```
#include "heltec.h"
#include "images.h"
#include "Arduino.h"
#include <Wire.h>
#define BAND    915E6
int lecturaSensorUV = 36;
int voltaje_3V3 = 37;
```

**Figura 3.26** Definición de librerías, banda de trabajo y variables

Las líneas de código mostradas en la Figura 3.27 establecen los parámetros de inicio del módulo, activando así la conexión LoRa, la conexión serial, el uso de la banda de frecuencia, la inicialización del módulo y definiendo las variables de entrada.

```
void setup()
{
  Heltec.begin(true , true , true , true , BAND);
  pinMode(lecturaSensorUV, INPUT);
  pinMode(voltaje_3V3, INPUT);
  Heltec.display->init();
  Heltec.display->flipScreenVertically();
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
  logo();
  delay(1500);
  Heltec.display->clear();
}
```

**Figura 3.27** Establecimiento de parámetros de inicialización

Con la ayuda de las funciones *int averageAnalogRead* y *float mapfloat* mostradas en la Figura 3.28 se almacenan y procesan los datos obtenidos por el sensor de modo que se hace más fácil calcular el índice de radiación UV.

```

int averageAnalogRead(int pinLectura)
{
  byte lecturas = 8;
  unsigned int valor = 0;
  for(int x = 0 ; x < lecturas ; x++)
  |  valor += analogRead(pinLectura);
  valor /= lecturas;
  return(valor);
}
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
  |  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

```

**Figura 3.28** Funciones para almacenar y procesar los datos medidos por el sensor UV

Las funciones, variables y parámetros establecidos son utilizados en la función *loop* que se ejecuta constantemente a manera de bucle. En esta función, tal como se muestra en la Figura 3.29, se obtiene el voltaje de salida que arroja el sensor tras medir la radiación UV y con este, se realiza un mapeo considerando los límites del IUUV y se obtiene el índice UV deseado. Este último es proyectado en la pantalla OLED y enviado en un paquete LoRa cumpliendo así la función de la placa transmisora de datos.

```

void loop()
{
  int nivel_UV = averageAnalogRead(lecturaSensorUV);
  int voltaje_Ref = averageAnalogRead(voltaje_3V3);
  float voltaje_Salida = 3.3 / voltaje_Ref * nivel_UV;
  float indiceUV = mapfloat(voltaje_Salida, 0.99, 2.9, 0.0, 15.0);
  delay(1000);
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Heltec.display->drawString(0, 5, " Sensor de Radiacion UV");
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
  Heltec.display->drawString(0, 20, "Enviando: ");
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Heltec.display->drawString(0, 40, "Indice UV: ");
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_24);
  Heltec.display->drawStringMaxWidth(70, 32, 360, String(indiceUV));
  Heltec.display->display();
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.setTxPower(14, RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);
  LoRa.print(indiceUV);
  LoRa.endPacket();
}

```

**Figura 3.29** Función de bucle donde se procesa, muestra y envía el índice UV

## Programación del módulo receptor Heltec LoRa 32

La programación del receptor vista en la Figura 3.30, también parte estableciendo las variables, librerías y banda de trabajo para cumplir su función como receptor.

```
#include "heltec.h"
#include "images.h"
#define BAND 915E6
String indiceUV ;
```

**Figura 3.30** Librerías, banda de trabajo y variables del receptor

La función *set up*, indicada en la Figura 3.31, se encarga de inicializar el módulo, habilita la conexión LoRa, el uso de la banda y colocar al módulo en el modo “escucha” de esta manera desde que se enciende está a la espera de algún mensaje. También el código imprime en la pantalla OLED información para dar a conocer su estado de escucha.

```
void setup()
{
  Heltec.begin(true , true , true , true , BAND);
  Heltec.display->init();
  Heltec.display->flipScreenVertically();
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  logo();
  delay(1500);
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Heltec.display->drawString(0, 0, "Inializacion LoRa exitosa");
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Heltec.display->drawString(0, 15, "Esperando datos...");
  Heltec.display->display();
  LoRa.receive();
}
```

**Figura 3.31** Parámetros de inicio y activación del modo escucha del receptor

En el receptor también es necesario el uso de funciones para procesar el dato que recibido en la comunicación LoRa. En la Figura 3.32 se indican las dos funciones que se encargan respectivamente de procesar la variable que almacena el dato recibido y mostrar en pantalla OLED en índice UV enviado desde el transmisor.

```

void cbk(int packetSize) { //Función para procesar el dato recibido
    indiceUV = "";
    for (int i = 0; i < packetSize; i++)
    { indiceUV += (char) LoRa.read(); }
    LoRaData();
}
void LoRaData(){ //Función para mostrar el dato final procesado
    Heltec.display->clear();
    Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
    Heltec.display->drawString(0, 5, " Sensor de Radiacion UV");
    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
    Heltec.display->drawStringMaxWidth(0, 32, 360,"INDICE UV: ");
    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_24);
    Heltec.display->drawStringMaxWidth(65 , 32 , 800, indiceUV);
    Heltec.display->display();
}
}

```

**Figura 3.32** Procesamiento del dato recibido

Por último, se tiene a la función principal de bucle o *loop* la cual, como se muestra en la Figura 3.33, analiza constantemente si existen mensajes nuevos y los almacena en una variable para posteriormente mostrarlo en la pantalla OLED. En el caso de no detectar un nuevo mensaje o perder la conexión con el transmisor, permanece en su modo de “escucha” hasta detectar uno nuevo.

```

void loop(){
    int packetSize = LoRa.parsePacket();
    if (packetSize!=LoRa.parsePacket())
    { cbk(packetSize); }
    else
    {
        Heltec.display->clear();
        Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
        Heltec.display->drawString(0, 0, "Inicializacion LoRa exitosa");
        Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
        Heltec.display->drawString(0, 15, "Esperando datos...");
        Heltec.display->display();
        LoRa.receive();
    }
    delay(2000);
}
}

```

**Figura 3.33** Función de bucle para recibir y mostrar los datos

## Implementación del sistema

Los dispositivos que componen al sistema, tanto transmisor y receptor, son de uso portátil por lo que se pueden utilizar en cualquier zona, considerando una distancia prudente para la correcta transmisión. Al ser estos dispositivos móviles, tienen la capacidad de ser utilizados en distintos lugares, tal como se observa en la Figura 3.34, ya sean amplios donde no existe la presencia de obstáculos, como parques y plazas, y otros ambientes con obstáculos como edificios, casas, personas y vegetación.



**Figura 3.34** Implementación del prototipo en distintos ambientes

En la Tabla 3.4 se muestran los costos de los dispositivos implementados para el desarrollo del prototipo del proyecto.

**Tabla 3.4** Costos de la implementación

Dispositivo	Cantidad	Precio	Subtotal
Heltec LoRa 32	2	\$ 52,70	\$ 105,40
Sensor ML8511	1	\$ 9,40	\$ 9,40
Batería de Litio	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Baquelita de cobre	2	\$ 0,35	\$ 0,70
Impresión Laser	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Broca de 1 (mm)	1	\$ 1,80	\$ 1,80
Cautín 40 (W)	1	\$ 9,50	\$ 9,50
Conector de batería	2	\$ 0,35	\$ 0,70
Estaño 1 (m)	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Interruptor	2	\$ 0,75	\$ 1,50
Mano de obra	1	\$ 50,00	\$ 50,00
<b>Total</b>			<b>\$ 201,50</b>

### 3.5 Pruebas de funcionamiento

Una vez terminado el diseño y la elaboración de las placas transmisora y receptora, se realizan las pruebas de funcionamiento. Con la ayuda de una fuente externa, se evalúa el IUV medido para corroborar que las lecturas del sensor son correctas o se hallan dentro de un margen de error aceptable. Así mismo, el sistema implementado es expuesto a diferentes ambientes donde el clima, los obstáculos y la distancia entre ambas placas determinan la fidelidad de la información que se trasmite y recibe.

#### Verificación de las medidas con fuentes adicionales

Se realizaron varias mediciones en diferentes lugares durante la fase de pruebas del prototipo para constatar la veracidad de los datos que se miden y transmiten. Para esto se realizaron medidas del IUV en el parque Bicentenario ubicado al norte de Quito. En dicho parque se encuentra un solmáforo el cual mide la radiación UV del lugar y por medio de un semáforo de colores, tal como se observa en la Figura 3.35, advierte a la población sobre el riesgo que existe frente a la exposición del sol.

Este solmáforo es parte del proyecto implementado por el Municipio de Quito por medio de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP). Estos solmáforos están compuestos por sensores ópticos y filtros UV y sirven para dar a conocer el nivel de radiación UV al que se exponen las personas y por ende se tomen las medidas necesarias para evitar afectaciones en la salud.



**Figura 3.35** Solmáforo ubicado en el parque Bicentenario

Para contrastar los datos que se obtienen del prototipo, se compara el color que activa el solmáforo con el color que se le asigna al IUV que se visualiza en la pantalla de la placa receptora. En la placa receptora se tiene incorporada bajo la pantalla OLED la misma tabla de colores que maneja el solmáforo, por lo que conforme cambia el IUV también cambia la interpretación del color que se le asigna. Las lecturas del IUV tomadas por el prototipo coinciden con la interpretación de las luces que activa el

solmáforo ya que dichas lecturas estas están dentro del rango del IUV que se define para cada color del solmáforo, estos resultados los podemos visualizar en la Tabla 5.

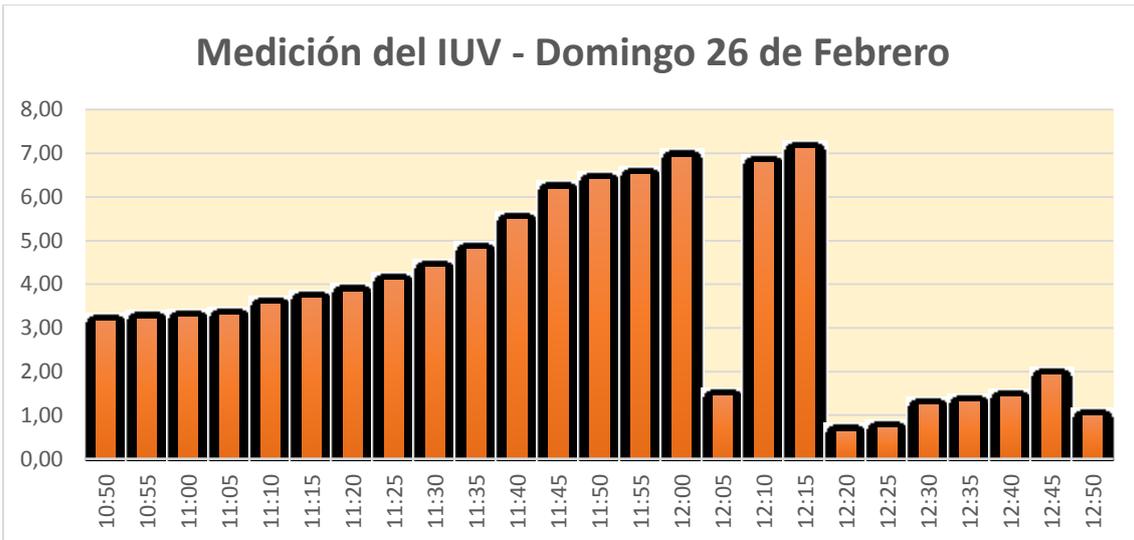
**Tabla 5** Comparación de resultados de mediciones del prototipo y el solmáforo

<b>Hora</b>	<b>IUV medido</b>	<b>Interpretación del IUV medido</b>	<b>Color del Solmáforo</b>
11:38	1.67	Riesgo BAJO – Verde	Verde
11:40	2.64	Riesgo BAJO – Verde	Verde
11:52	5.39	Riesgo MODERADO – Amarillo	Naranja
11:55	2.17	Riesgo BAJO – Verde	Verde
12:03	2.69	Riesgo BAJO – Verde	Verde
12:04	3.11	Riesgo MODERADO – Amarillo	Verde
12:05	5.54	Riesgo MODERADO – Amarillo	Naranja
12:06	6.14	Riesgo ALTO – Naranja	Naranja
12:07	8.22	Riesgo MUY ALTO – Rojo	Rojo
12:08	9.07	Riesgo MUY ALTO – Rojo	Rojo
12:09	8.30	Riesgo MUY ALTO – Rojo	Rojo
12:10	6.77	Riesgo ALTO – Naranja	Naranja
12:11	7.91	Riesgo ALTO – Naranja	Rojo
12:12	1.72	Riesgo BAJO – Verde	Verde
12:21	8.91	Riesgo MUY ALTO – Rojo	Rojo

Los cambios climáticos presentes en el lugar que se realizaron las pruebas, como presencia de nubosidad y fuertes vientos, provocaron que el sensor del prototipo mida valores de IUV bajos. El prototipo implementado realiza mediciones cada segundo por lo que el valor del IUV va cambiando constantemente, por esta razón algunos de los datos medidos no coinciden con el color mostrado por el solmáforo. El solmáforo no tiene la capacidad de mostrar un cambio numérico segundo a segundo como el prototipo implementado por lo que algunos valores del IUV no se verán reflejados en él.

### **Pruebas de cambio del IUV**

Se realizaron mediciones para comprobar que el prototipo detecta los cambios del IUV a lo largo del día y frente a las condiciones climáticas. Para esto, en un día soleado y de posterior nubosidad se realizó la medición del IUV con un reporte de este cada cinco minutos, teniendo como resultado los datos de la Figura 3.36.



**Figura 3.36** Resultados de las mediciones del IUV en un lapso de 2 horas

### Pruebas en un ambiente sin presencia de obstáculos

Para empezar con las pruebas, se utiliza al prototipo en un ambiente libre de obstáculos o con poca presencia de ellos, seleccionando así el sector del Parque Bicentenario ubicado al norte de Quito. La placa transmisora es encendida y el sensor empieza a realizar las mediciones del IUV las cuales son procesadas y enviadas en la comunicación LoRa. El dispositivo receptor es trasladado hasta una distancia de aproximadamente 400 (m), tal como se observa en la Figura 3.37. En el tramo de esta distancia se toman distintas lecturas para analizar la calidad de la transmisión conforme el dispositivo se aleja de la placa transmisora. Los resultados de estas mediciones transmitidas y recibidas, así como el porcentaje de error y el tiempo que le tomo a las placas concretar el proceso de comunicación, son mostrados en la Tabla 3.6.

Tanto el dato transmitido como el recibido en las diferentes distancias son mostrados en la pantalla OLED de los módulos Heltec como se aprecia en la Figura 3.38.



**Figura 3.37** Ubicación del transmisor y receptor a una distancia de 403.46 (m)



**Figura 3.38** Visualización del dato transmitido y recibido

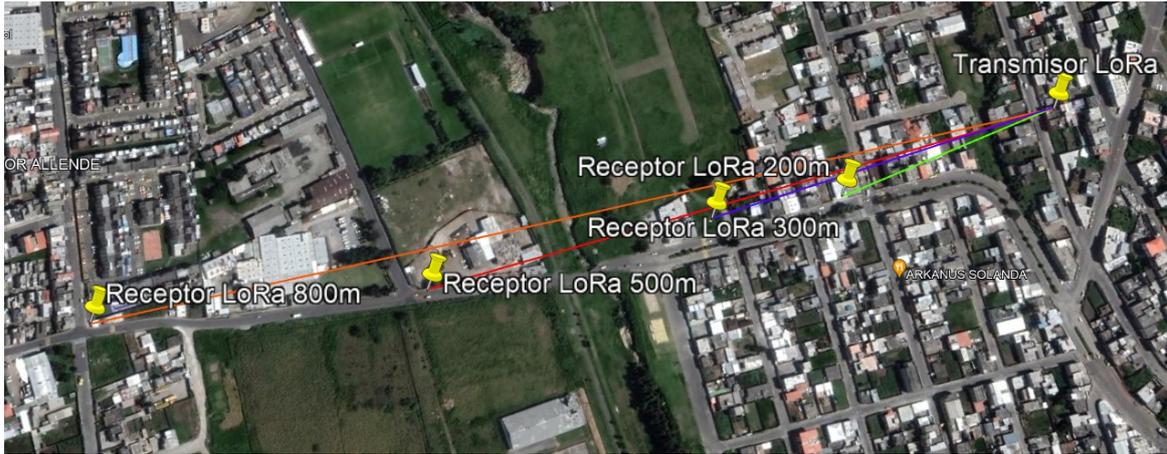
**Tabla 3.6** Comparación de datos enviados y recibidos en condiciones de línea de vista

Distancia	IUV transmitido	IUV recibido	Error (%)
100 (m)	2.47	2.47	0
200 (m)	0.94	0.94	0
300 (m)	2.67	2.67	0
400 (m)	0.74	0.74	0

En este escenario, desde el transmisor al receptor, se tiene una línea de vista sin la presencia de obstáculos considerables que comprometan a los datos transmitidos y recibidos por lo que el error o la pérdida de estos es nula y el tiempo que le toma al sensor recibir los datos es pequeño.

### **Pruebas en un ambiente con presencia de obstáculos**

En el segundo caso, se implementa el sistema en un ambiente con obstáculos como edificios, arboles, presencia de personas y automóviles, seleccionando entonces el sector de la Cocha ubicado en el sur de Quito. La placa transmisora y receptora también son separadas aproximadamente 800 (m) tal como se observa en la Figura 3.39. En las placas transmisora y receptora se realiza el mismo procedimiento del ambiente anterior para hacer funcionar el sistema y los resultados de este se visualiza en las pantallas OLEDs tal como se muestra en la Figura 3.40 y Tabla 3.7.



**Figura 3.39** Ubicación del transmisor y receptor a una distancia de 800 (m)



**Figura 3.40** Visualización del dato transmitido y recibido

**Tabla 3.7** Comparación de datos enviados y recibidos en condiciones sin línea de vista

Distancia	IUV transmitido	IUV recibido	Error (%)
200 (m)	0.81	0.81	0
300 (m)	0.95	0.95	0
500 (m)	0.83	0.83	0
800 (m)	1.09	1.09	0

Para este escenario, desde el transmisor al receptor, no se tiene una línea de vista debido a la presencia de las edificaciones que están alrededor del lugar. Este factor altera la calidad con la cual el receptor percibe los datos ya que se pierden algunos paquetes enviados inalámbricamente por tecnología LoRa. Se debe indicar que las nuevas lecturas se reciben con menos frecuencia debido a que se pierden algunos paquetes en la transmisión y por ende al receptor le toma más tiempo tener la misma cantidad de datos que el caso anterior.

## 4 CONCLUSIONES

- El desarrollo e implementación del sistema de transmisión de radiación UV basado en tecnología LoRa, permite la medición del índice de radiación UV por medio del uso del sensor ML8511 y la transmisión y recepción de esta información utilizando dos placas electrónicas incorporadas con módulos Heltec LoRa 32. Dicha información es visualizada en ambos lados de la comunicación por medio de una pantalla OLED presente en los módulos.
- La selección del módulo Heltec LoRa 32 junto con su microcontrolador ESP32 incorporado frente al TTGo T-Display, satisface los requerimientos de hardware y software para que el sistema de medición y transmisión de datos funcione de manera adecuada. El uso de este módulo reduce tanto los costos de implementación del prototipo como la cantidad de componentes electrónicos en las placas y por ende las dimensiones que abarca el prototipo final.
- En la fase de diseño se obtuvieron los modelos 3D de las placas electrónicas junto con sus respectivos circuitos y diagramas PCB. Con estos últimos, y tras aplicar la técnica del planchado para la transferencia térmica de las pistas, se perforo las baquelitas para después montar los elementos y soldarlos obteniendo finalmente dos placas electrónicas. La correcta implementación de estas se concretó tras compilar el código de programación para su funcionamiento y colocar ambas placas en su respectivo módulo protector.
- Tras la fase de pruebas de contraste se comprobó que el sistema realiza mediciones correctas del IUV. Se compararon los datos del IUV mostrados por la pantalla OLED en la placa transmisora con los colores que presentaba el solmáforo, obteniendo así niveles de IUV que están dentro del rango al que correspondía cada color que se observaba el solmáforo. Cuando el solmáforo cambiaba de un nivel alto, color rojo, a uno bajo, color verde, el IUV medido por el prototipo también cambiaba y la interpretación de su valor se mantenía dentro del rango de estos niveles de riesgo.
- También se verificó que el sistema funciona adecuadamente en diferentes ambientes y distancias. La presencia de obstáculos no afectó en el proceso de comunicación ya que, a pesar de necesitar más tiempo cuando los dispositivos estaban separados por distancias mayores, no existió un error entre el dato transmitido y el recibido. Se comprobó también que, en un ambiente sin presencia de obstáculos el prototipo se desempeña de mejor manera ya que, para las pruebas realizadas la distancia de 400 (m) que separa al transmisor y

receptor no afecto la transmisión. Además, al sistema le toma menos tiempo recibir el dato transmitido y el error que presenta es nulo.

## **5 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda implementar en el receptor un semáforo de luces LED de bajo consumo para advertir del riesgo frente a la exposición de radiación UV.
- Dentro de la programación de los módulos, considerar el uso de una función que permita visualizar en la pantalla OLED el estado de carga de la batería, de esta manera se evitará que se realicen mediciones incorrectas o que estas sean interrumpidas por un apagón repentino.
- Al momento de implementar las placas electrónicas es recomendable que se tenga especial cuidado con los dispositivos de medición ya que sus compuestos presentan cierta sensibilidad ante agentes como la suciedad, raspones, líquidos o los residuos de soldadura y se podría generar lecturas erróneas.
- Se recomienda implementar un sistema de contador con alarma en ambas placas electrónicas para que advierta sobre el tiempo que se ha mantenido contacto con un IUV constante. Esto debido a que en los diferentes niveles de riesgo se sugiere un tiempo prudente para la exposición y la alarma junto con un mensaje de advertencia indicara si se ha excedido este tiempo.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. Galíndez, « Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana,» 2013. [En línea]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/55414>. [Último acceso: 16 Enero 2023].
- [2] C. Taípe, T. Ubaldo, G. Julio y M. Eva, «Índice de radiación ultravioleta estimado por la Estación Meteorológica Davis de la Universidad,» *Ñawparisun - Revista de investigación científica*, vol. 2, n° 2, pp. 37-42, Marzo 2020.
- [3] J. Ballén y J. Pérez, «Radiación ultravioleta,» *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, n° 9, pp. 97-104, 2007.
- [4] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios, «IDEAM,» [En línea]. Available: [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta#:~:text=FACTORES%20QUE%20INFLUYEN%20EN%20LOS,terrestre%20\(ver%20Figura%203\)..](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta#:~:text=FACTORES%20QUE%20INFLUYEN%20EN%20LOS,terrestre%20(ver%20Figura%203)..) [Último acceso: 16 Enero 2023].
- [5] L. Vera, B. Zavala y J. Romero, «DSpace en Espol,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/47558>. [Último acceso: 17 Enero 2023].
- [6] D. López, «UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC,» 26 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/363680>. [Último acceso: 16 Enero 2023].
- [7] M. Heredero, «Archivo Digital UPM,» 16 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/33830/>. [Último acceso: 28 Enero 2023].
- [8] E. Hernández, C. Calderón y T. Fernandez, «Arquitectura M2M para el monitoreo ambiental en tiempo real,» *ITECKNE: Innovación e Investigación en Ingeniería*, vol. 18, n° 1, pp. 18-25, 2021.

- [9] CONT4BL3, «¿Qué es “la Internet de las Cosas”?,» *Cont4bl3*, nº 71, pp. 47-47, 2019.
- [10] N. Guaca y M. López, «Selección de tecnologías LPWAN para la implementación de un sistema IoT aplicado a la lombricultura,» de *EXPOTECH 2020 Ciencia, Ingeniería y Sociedad “Tecnologías exponenciales para la consolidación de la industria 4.0”*, Bogotá, 2020.
- [11] Mactronica, «MACTRONICA,» [En línea]. Available: <https://www.mactronica.com.co/sensor-de-rayos-uv-ml8511>. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [12] HELTEC Automation, HELTEC Automation, 2018. [En línea]. Available: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [13] C. Peña, *Descubriendo Arduino*, Buenos Aires: RedUsers, 2020.
- [14] Vistrónica, [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/comunicaciones/wifi/modulo-transceptor-lora-sx1276-915mhz-detail.html>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [15] REYAX, [En línea]. Available: <https://reyax.com/products/rylr998/>. [Último acceso: 2 Febrero 2023].
- [16] A. Llorete, *Comunicaciones inalámbricas hoy*, 22 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/modulo-transceptor-lora-rylr998/>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [17] Naylamp Mechatronics, [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-luz-y-sonido/169-modulo-sensor-de-luz-ultravioleta-uv-ml8511.html>. [Último acceso: 7 Febrero 2023].
- [18] «TECmikro,» TECmikro TM, [En línea]. Available: <https://tecmikro.com/sensores/533-sensor-de-luz-ultravioleta-uv.html>. [Último acceso: 7 Febrero 2023].
- [19] «Seeed Studio,» Seeed Studio, [En línea]. Available: [https://wiki.seeedstudio.com/Grove-UV\\_Sensor/](https://wiki.seeedstudio.com/Grove-UV_Sensor/). [Último acceso: 7 Febrero 2023].

- [20] «Didacticas Electronicas,» Plastimedia.Studio, [En línea]. Available: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/radiacion-uv/sensor-uv-uv-sensor-sensores-de-luz-radiacion-ultravioleta-sensor-solar-sensor-luz-solar-solar-2-ultra-violeta-guva-s12sd-seeed-studio-detail>. [Último acceso: 7 Febrero 2023].
- [21] Mercado Libre, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517726098-sensor-de-luz-uv-gy-ml8511-arduino-electronics-\\_JM#position=3&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=299c6a18-dd21-4163-ae5e-b35e5b354dff](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517726098-sensor-de-luz-uv-gy-ml8511-arduino-electronics-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=299c6a18-dd21-4163-ae5e-b35e5b354dff). [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [22] Electronics, «Mercado libre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516172209-lora-esp32-sx1276-868-915mhz-oled-096-wifi-arduino-electroni-\\_JM#position=10&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=40c3ab99-145b-48af-bae7-07b821be1c61](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516172209-lora-esp32-sx1276-868-915mhz-oled-096-wifi-arduino-electroni-_JM#position=10&search_layout=stack&type=item&tracking_id=40c3ab99-145b-48af-bae7-07b821be1c61). [Último acceso: 24 Febrero 2023].
- [23] Joan, «Joan's code snippets pages,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/jmaathuis/arduino/lilygo-ttgo-t-display-esp32>. [Último acceso: 24 Febrero 2023].
- [24] Ecuaplus Machala, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517973225-ttgo-t-display-esp32-wifiblueetoothdisplay-114-ecuaplus-\\_JM#position=33&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=ff91d358-b570-4a06-8986-ba37dd3b839e](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517973225-ttgo-t-display-esp32-wifiblueetoothdisplay-114-ecuaplus-_JM#position=33&search_layout=stack&type=item&tracking_id=ff91d358-b570-4a06-8986-ba37dd3b839e). [Último acceso: 24 Febrero 2023].
- [25] C. Canziani, «Los sensores inalámbricos IoT y el problema de la corta duración de las baterías,» *Revista española de Electrónica*, pp. 74-75, 2015.
- [26] «ebay,» [En línea]. Available: <https://www.ebay.com.au/itm/182490127635>. [Último acceso: 15 Febrero 2023].

## 7 ANEXOS

La lista de los **Anexos** se muestran a continuación:

ANEXO I. Certificado de originalidad

ANEXO II. Enlaces

ANEXO III. Conjunto de datos extensos

## ANEXO I: Certificado de Originalidad

### CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 02 de marzo de 2022

De mi consideración:

Yo, ANDRÉS FERNANDO REYES CASTRO, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE RADIACION UV BASADO EN TECNOLOGÍA LORA elaborado por el estudiante LUIS HENRRY VILCA CASA de la carrera en TECNOLOGÍA SUPERIOR EN REDES Y TELECOMUNICACIONES, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito completo, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 11%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el link del informe generado por la herramienta Turnitin.

[Reportedeporcentajedesimilitud.pdf](#)

Atentamente,



ANDRÉS FERNANDO REYES CASTRO

Docente

Escuela de Formación de Tecnólogos

## ANEXO II: Enlaces



**Anexo II.I** Código QR de la implementación y pruebas de funcionamiento

## ANEXO III: Códigos Fuente

### Código del dispositivo transmisor

```
#include "heltec.h"

#include "images.h"

#include "Arduino.h"

#include <Wire.h>

#define BAND 915E6

int lecturaSensorUV = 36;

int voltaje_3V3 = 37;

void setup()

{

  Heltec.begin(true , true , true , true , BAND);

  pinMode(lecturaSensorUV, INPUT);

  pinMode(voltaje_3V3, INPUT);

  Heltec.display->init(); // Se inicializa el modulo Heltec

  Heltec.display->flipScreenVertically();

  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);

  logo();

  delay(1500);

  Heltec.display->clear();

}

void loop()

{

  int nivel_UV = averageAnalogRead(lecturaSensorUV);

  int voltaje_Ref = averageAnalogRead(voltaje_3V3);

  float voltaje_Salida = 3.3 / voltaje_Ref * nivel_UV;
```

```

float indiceUV = mapfloat(voltaje_Salida, 0.99, 2.9, 0.0, 15.0);

delay(1000);

Heltec.display->clear();

Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

Heltec.display->drawString(0, 5, " Sensor de Radiacion UV");

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);

Heltec.display->drawString(0, 20, "Enviando: ");

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

Heltec.display->drawString(0, 40, "Indice UV: ");

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_24);

Heltec.display->drawStringMaxWidth(70, 32, 360, String(indiceUV));

Heltec.display->display();

LoRa.beginPacket();

LoRa.setTxPower(14,RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);

LoRa.print(indiceUV);

LoRa.endPacket();

}

void logo()

{

Heltec.display->clear();

Heltec.display->drawXbm(0,5,logo_width,logo_height,logo_bits);

Heltec.display->display();

}

int averageAnalogRead(int pinLectura)

{

byte lecturas = 8;

```

```

unsigned int valor = 0;

for(int x = 0 ; x < lecturas ; x++)

    valor += analogRead(pinLectura);

    valor /= lecturas;

return(valor);

}

float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)

{

    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;

}

```

### **Código del dispositivo receptor**

```

#include "heltec.h"

#include "images.h"

#define BAND 915E6

String indiceUV ;

void setup()

{

    Heltec.begin(true , true , true , true , BAND);

    Heltec.display->init();

    Heltec.display->flipScreenVertically();

    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

    logo();

    delay(1500);

    Heltec.display->clear();

    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

    Heltec.display->drawString(0, 0, "Inializacion LoRa exitosa");

    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

```

```

Heltec.display->drawString(0, 15, "Esperando datos...");

Heltec.display->display();

LoRa.receive();

}

void loop(){

    int packetSize = LoRa.parsePacket();

    if (packetSize!=LoRa.parsePacket())

        { cbk(packetSize); }

    else

    {

        Heltec.display->clear();

        Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

        Heltec.display->drawString(0, 0, "Inicializacion LoRa exitosa");

        Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

        Heltec.display->drawString(0, 15, "Esperando datos...");

        Heltec.display->display();

        LoRa.receive();

    }

    delay(2000);

}

void cbk(int packetSize) {

    indiceUV ="";

    for (int i = 0; i < packetSize; i++)

        { indiceUV += (char) LoRa.read(); }

    LoRaData();

}

void logo(){

```

```
Heltec.display->clear();

Heltec.display->drawXbm(0,5,logo_width,logo_height,logo_bits);

Heltec.display->display();

}

void LoRaData(){

Heltec.display->clear();

Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

Heltec.display->drawString(0, 5, " Sensor de Radiacion UV");

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

Heltec.display->drawStringMaxWidth(0, 32, 360,"INDICE UV: ");

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_24);

Heltec.display->drawStringMaxWidth(65 , 32 , 800, indiceUV);

Heltec.display->display();

}
```