



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,
MODALIDAD PRESENCIAL**

TEMA:

PROTOTIPO DE MONITOREO DE RADIACIÓN UV MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS AUTOMATIZADAS EN UN DRON PARA EL CAMPUS GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Desarrollo, aplicación de software y cybersecurity (seguridad cibernética)

AUTOR:

Edin Alberto Meneses Pozo

DIRECTOR:

Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

Ibarra, julio 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040211652-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Meneses Pozo Edin Alberto		
DIRECCIÓN:	Carchi - Tulcán, Santa Martha de Cuba		
EMAIL:	eamenesesp@utn.edu.ec edin666@outlook.es		
TELÉFONO FIJO:	XXXXXXX	TELÉFONO MÓVIL:	0988601242

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	PROTOTIPO DE MONITOREO DE RADIACIÓN UV MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS AUTOMATIZADAS EN UN DRON PARA EL CAMPUS GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
AUTOR:	Meneses Pozo Edin Alberto
FECHA: DD/MM/AAAA	29/07/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Telecomunicaciones
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Jaime Alvarado, MSc. / Ing. Jaime Michilena, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de julio de 2024

EL AUTOR:

.....
Edin Alberto Meneses Pozo

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 29 de julio de 2024

Ing. Jaime Michilena Msc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



.....
Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón MSc.
C.C.: 1002198438

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular "PROTOTIPO DE MONITOREO DE RADIACIÓN UV MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS AUTOMATIZADAS EN UN DRON PARA EL CAMPUS "GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA" DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE" elaborado por EDIN ALBERTO MENESES POZO, previo a la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....
Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón MSc.
C.C. 1002198438



.....
Ing. Jaime Gustavo Alvarado Sánchez, MSc.
C.C.: 1001354701

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Carlos Meneses y Narciza Pozo, pilares fundamentales en mi vida. Su amor incondicional, enseñanzas y apoyo constante me han impulsado a perseguir mis sueños.

Los valores que me han inculcado y su ejemplo de perseverancia son la base de este logro académico.

A mis hermanas, Nathaly y Paola, por ser parte de mi fuente de inspiración y motivación para seguir adelante.

A Criss Isabel, por su aliento, cariño y acompañamiento en gran parte de este camino académico.

A mis tías, tíos, primas y primos, por su constante motivación y respaldo a lo largo de este proceso.

A todos ustedes que creyeron en mí, les dedico con todo mi corazón este trabajo.

Meneses Pozo Edin Alberto

AGRADECIMIENTO

Al concluir esta etapa significativa de mi vida, en primer lugar, agradezco a Dios por bendecirme con salud y fortaleza para alcanzar esta meta.

Agradezco profundamente a mis padres, por su sacrificio incansable y su apoyo inquebrantable.

Este logro académico es un reflejo de su amor y esfuerzo.

A mis amigos Cristian, Erik, Juan Diego y Marlon, acompañantes en este viaje académico. Su amistad y el conocimiento compartido han enriquecido mi experiencia universitaria.

A los docentes de la carrera de Telecomunicaciones, por su compromiso en transmitir no solo conocimientos, sino también la pasión por nuestra profesión.

En especial al Ing. Jaime Michilena, director de mi trabajo de titulación, y al Ing. Jaime Alvarado, asesor, por brindarme su valiosa guía, fundamental en el desarrollo de este proyecto.

Al personal administrativo del Campus Granja Experimental Yuyucocha, por su disposición y colaboración, elementos clave para la realización exitosa de este trabajo.

A todos ustedes, mi eterno agradecimiento por ser parte integral de este logro académico y personal.

Meneses Pozo Edin Alberto

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el desarrollo de un prototipo para el monitoreo de radiación UV mediante la programación de rutas automatizadas en un dron, diseñado específicamente para el campus Granja Experimental Yuyucocha. Este sistema innovador busca proporcionar información precisa y en tiempo real sobre los niveles de radiación UV en el área, contribuyendo así a la seguridad y salud de la comunidad universitaria.

El desarrollo del prototipo se estructura en cuatro fases, basándose en la metodología en cascada. En la primera fase de análisis de requerimientos, se determinan las necesidades del prototipo a nivel de software y hardware, considerando las características únicas del campus. En la fase de diseño, se integran los componentes y tecnologías como Wi-Fi, servicios en la nube y una aplicación móvil. En la fase de implementación, se llevan a cabo pruebas preliminares en un entorno controlado para verificar el funcionamiento e integración de cada elemento del prototipo, realizando ajustes y optimizaciones según sea necesario. Por último, en la fase de verificación, se evalúa el desempeño del prototipo en base a un plan de pruebas establecido.

Finalmente, se realizan pruebas de funcionamiento según el plan de pruebas establecido, donde se verifica que el prototipo detecta y envía correctamente los niveles de radiación UV a la aplicación móvil, generando alertas y notificaciones en tiempo real que permiten al usuario tomar las acciones necesarias y mantenerse informado sobre las complicaciones y riesgos asociados con la exposición a la radiación UV.

Palabras clave: Radiación UV, UV-B, monitoreo, dron, DJI Mini 4 Pro, rutas, automatizadas, programación de trayectoria, waypoints, WiFi, Android Studio, Firebase, aplicación móvil, tiempo real, metodología en cascada.

ABSTRACT

The present thesis details the development of a prototype for UV radiation monitoring through automated drone route programming, specifically designed for the Yuyucocha Experimental Farm campus. This innovative system aims to provide accurate and real-time information about UV radiation levels in the area, thus contributing to the safety and health of the university community.

The development of the prototype is structured in four phases, based on the waterfall methodology. In the first phase, requirements analysis, the software and hardware needs of the prototype are determined, considering the unique characteristics of the campus. In the design phase, components and technologies such as Wi-Fi, cloud services, and a mobile application are integrated. In the implementation phase, preliminary tests are conducted in a controlled environment to verify the functionality and integration of each prototype element, making adjustments and optimizations as necessary. Finally, in the verification phase, the prototype's performance is evaluated based on an established test plan.

Finally, functional tests are conducted according to the established test plan, verifying that the prototype correctly detects and sends UV radiation levels to the mobile application, generating real-time alerts and notifications that allow the user to take necessary actions and stay informed about the complications and risks associated with UV radiation exposure.

Keywords: UV Radiation, UV-B, monitoring, drone, DJI Mini 4 Pro, automated routes, trajectory programming, waypoints, WiFi, Android Studio, Firebase, mobile application, real-time, waterfall methodology.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: ANTEDECENTES.....	15
2.1. Tema	15
2.2. Problema.....	15
2.3. Objetivos.....	17
2.3.1. Objetivo General.....	17
2.3.2. Objetivos Específicos.....	17
2.4. Alcance	18
2.5. Justificación	19
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	22
3.1. Radiación Ultravioleta (UV)	22
3.2. Tipos de radiación UV y sus efectos en la salud	24
3.2.1. Radiación UV-A	25
3.2.2. Radiación UV-B.....	25
3.2.3. Radiación UV-C.....	27
3.3. Factores que influyen en los niveles de radiación UV	28
3.4. Instrumentos de medida de la radiación UV	30
3.4.1. Piranómetro.....	31
3.4.2. Pirheliómetros	32
3.4.3. Actinógrafo	32
3.5. Uso de drones para la investigación y el monitoreo ambiental	33
3.5.1. Beneficios del uso de drones.....	33
3.5.2. Impacto de los drones en los esfuerzos de conservación ambiental	34
3.6. Sistema de navegación por waypoints de un dron.....	35
3.6.1. Conceptos básicos de los sistemas de navegación de punto de ruta	35
3.6.2. Componentes de un sistema de navegación de puntos de ruta	36
3.6.3. Beneficios de los sistemas de navegación de puntos de ruta de drones.....	38
3.6.4. Desafíos de los sistemas de navegación de puntos de ruta de drones.....	39
3.6.5. Proyección de los sistemas de navegación de waypoints	40
3.7. Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia en Ecuador ...	40
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PROTOTIPO	42
4.1. Análisis de requisitos.....	42
4.1.1. Situación actual.....	42
4.1.2. Encuesta	45
4.1.3. Descripción general del sistema.....	49
4.1.4. Requerimientos	50
4.1.5. Recursos	56
4.1.6. Elección de Hardware y Software.....	57
4.2. Diseño del prototipo	64
4.2.1. Modelo de referencia IoT del prototipo de monitoreo de radiación UV	64
4.2.2. Nodo recolector.....	65
4.2.3. Base de datos en la nube	73
4.2.4. Aplicación móvil.....	79
4.2.5. Programación de waypoints o puntos de ruta en dron	90
4.3. Pruebas preliminares de integración del prototipo	96

4.3.1.	Integración de componentes	96
4.3.2.	Recolección y visualización de datos en el nodo recolector.....	100
4.3.3.	Envío y recepción de datos a Firebase Realtime Database.....	101
4.3.4.	Visualización de datos en aplicación móvil.....	102
CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		104
4.1.	Plan de pruebas.....	104
4.1.1.	Prueba 1. Duración de batería de dron y sistema embebido.....	105
4.1.2.	Prueba 2. Rango de comunicación entre sistema embebido y punto de acceso inalámbrico.....	110
4.1.3.	Prueba 3. Pruebas de funcionamiento del nodo recolector.....	118
4.1.4.	Prueba 4. Envío y recepción de datos en Firebase Realtime	123
4.1.5.	Prueba 5. Envío y recepción de datos en aplicación móvil.....	125
4.1.6.	Prueba 6. Precisión de waypoints o puntos de ruta programados.....	131
4.2.	Resultado de pruebas	135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		139
	Conclusiones	139
	Recomendaciones.....	140
REFERENCIAS.....		141
ANEXOS.....		144
7.1.	ANEXO 1 – Encuesta	144
7.2.	ANEXO 2 – Tabulación de la encuesta	145
7.3.	ANEXO 3 – Código nodo recolector	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Rayos ultravioleta</i>	22
Figura 2 <i>Absorción de la radiación UV en la atmósfera</i>	23
Figura 3 <i>Efectos de la radiación UV sobre la salud</i>	26
Figura 4 <i>Factores que influyen en los niveles de radiación UV</i>	29
Figura 5 <i>Categoría de exposición y medidas de protección recomendadas</i>	30
Figura 6 <i>Tipos de piranómetros empleados en la medición de radiación UV</i>	31
Figura 7 <i>Dron autónomo para fines ambientales</i>	35
Figura 8 <i>Configuración de waypoints en dron</i>	37
Figura 9 <i>Campus Granja Experimental Yuyucocha</i>	43
Figura 10 <i>Descripción general del sistema</i>	50
Figura 11 <i>Características principales ESP32-C3-DevkitC-02U</i>	59
Figura 12 <i>Características principales sensor ultravioleta digital LTR390-UV</i>	60
Figura 13 <i>Características principales dron DJI Mini 4 Pro</i>	62
Figura 14 <i>Características principales Firebase Realtime Database</i>	63
Figura 15 <i>Características principales Android Studio</i>	64
Figura 16 <i>Modelo de referencia IoT aplicado al Prototipo de Monitoreo de Radiación UV</i>	65
Figura 17 <i>Diagrama esquemático del Nodo Recolector</i>	66
Figura 18 <i>Librerías para sensor LTR390</i>	68
Figura 19 <i>Parámetros para inicializar sensor LTR390-UV</i>	69
Figura 20 <i>Parámetros para lectura de datos de sensor LTR390-UV</i>	69
Figura 21 <i>Librerías y variables para conexión Wi-Fi</i>	70
Figura 22 <i>Inicialización y asignación de parámetros para conexión Wi-Fi</i>	71
Figura 23 <i>Verificación de conexión a red WiFi Eduroam</i>	72
Figura 24 <i>Creación de base de datos en Firebase</i>	74
Figura 25 <i>Modificación de reglas para correcta escritura y lectura de datos</i>	75
Figura 26 <i>Parámetros para conexión a base de datos en la nube</i>	75
Figura 27 <i>URL de base de datos en tiempo real de Firebase</i>	76
Figura 28 <i>Clave secreta de base de datos en tiempo real de Firebase</i>	77
Figura 29 <i>Definición de objetos Firebase</i>	77
Figura 30 <i>Inicio de conexión con la base de datos en la nube</i>	78
Figura 31 <i>Envío de datos del sensor UV hacia la base de datos en la nube</i>	78
Figura 32 <i>Ubicación para recepción de datos en Firebase Realtime Database</i>	79
Figura 33 <i>Instalación de Complemento Firebase Core</i>	80
Figura 34 <i>Verificación de instalación de CLI de FlutterFire</i>	81
Figura 35 <i>Activación de CLI de FlutterFire</i>	81
Figura 36 <i>Configuración de FlutterFire</i>	82
Figura 37 <i>Elección de plataformas compatibles</i>	82
Figura 38 <i>Registro de plataformas en Firebase</i>	83
Figura 39 <i>Archivo de configuración de Firebase</i>	83
Figura 40 <i>Ubicación de archivo Google Services</i>	84
Figura 41 <i>Importación de archivo Google Services</i>	84
Figura 42 <i>Agregar dependencias de Realtime Database</i>	85
Figura 43 <i>Importación de paquetes de Firebase</i>	85
Figura 44 <i>Inicialización de Firebase en Flutter</i>	86

Figura 45	<i>Creación de variable para almacenar datos provenientes de Firebase</i>	86
Figura 46	<i>Actualización de datos en tiempo real</i>	87
Figura 47	<i>Paquetes necesarios para notificaciones push</i>	88
Figura 48	<i>Solicitar permisos para activar notificaciones</i>	88
Figura 49	<i>Definición del contenido de la notificación push</i>	89
Figura 50	<i>Condición para mostrar notificación push local</i>	90
Figura 51	<i>Programación de waypoints DJI Mini 4 Pro</i>	91
Figura 52	<i>Programación de puntos de trayectoria DJI Mini 4 Pro</i>	92
Figura 53	<i>Configuración de parámetros en punto de trayectoria</i>	93
Figura 54	<i>Parámetro de tiempo estacionario en puntos de trayectoria</i>	94
Figura 55	<i>Comprobación de configuración de vuelo</i>	95
Figura 56	<i>Guardar ruta programada o waypoints</i>	96
Figura 57	<i>Componentes del sistema embebido</i>	97
Figura 58	<i>Acople de elementos del sistema embebido</i>	97
Figura 59	<i>Vista frontal y posterior de sistema embebido</i>	98
Figura 60	<i>Acoplamiento de sistema embebido con dron</i>	98
Figura 61	<i>Vistas laterales del sistema embebido acoplado al dron</i>	99
Figura 62	<i>Programación de waypoints desde control del dron</i>	99
Figura 63	<i>Validación de recolección de datos</i>	101
Figura 64	<i>Validación de recepción de datos en Firebase</i>	101
Figura 65	<i>Validación de datos en aplicación móvil</i>	102
Figura 66	<i>Validación de Notificaciones Push Android Studio</i>	103
Figura 67	<i>Prueba de duración de batería DJI Mini 4 Pro</i>	106
Figura 68	<i>Alerta de batería baja DJI Mini 4 Pro</i>	107
Figura 69	<i>Prueba de duración de batería sistema embebido</i>	107
Figura 70	<i>Comprobación de nivel bajo de batería sistema embebido</i>	108
Figura 71	<i>Conexión a red WiFi Eduroam Campus Granja Experimental Yuyucocha</i>	110
Figura 72	<i>Comprobación de conexión a red WiFi Eduroam</i>	111
Figura 73	<i>Enlace punto a punto Granja Experimental Yuyucocha</i>	112
Figura 74	<i>Vista superior Campus Granja Experimental Yuyucocha</i>	113
Figura 75	<i>Pruebas de calidad de señal WiFi NetSpot</i>	114
Figura 76	<i>Verificación de calidad de señal NetSpot</i>	115
Figura 77	<i>Definición de puntos de ruta en base a calidad de la señal</i>	116
Figura 78	<i>Programación y ejecución de ruta en base a calidad de señal</i>	117
Figura 79	<i>Verificación de conexión inalámbrica entre prototipo y red WiFi</i>	117
Figura 80	<i>Verificación de sensibilidad del sensor en ambiente despejado</i>	118
Figura 81	<i>Resultado de medición en ambiente despejado</i>	119
Figura 82	<i>Verificación de sensibilidad del sensor en ambiente nublado</i>	120
Figura 83	<i>Resultado de medición en ambiente nublado</i>	121
Figura 84	<i>Verificación de sensibilidad del sensor en ambiente bajo sombra</i>	122
Figura 85	<i>Verificación de envío y recepción de datos en Firebase</i>	123
Figura 86	<i>Verificación de actualización de datos en tiempo real Firebase</i>	124
Figura 87	<i>Comprobación de actualización de datos en tiempo real Firebase</i>	125
Figura 88	<i>Comprobación de integración entre Firebase y aplicación móvil</i>	126
Figura 89	<i>Comprobación de tiempo de retraso entre Firebase y aplicación móvil</i>	127
Figura 90	<i>Verificación de medidas y recomendaciones mostradas en aplicación móvil</i>	128

Figura 91 <i>Verificación de notificaciones push en aplicación móvil</i>	129
Figura 92 <i>Verificación de notificaciones push en segundo plano</i>	130
Figura 93 <i>Verificación de punto de origen y satélites disponibles</i>	131
Figura 94 <i>Verificación de precisión de waypoints</i>	132
Figura 95 <i>Verificación de precisión de tiempo de ruta</i>	133
Figura 96 <i>Función de retorno a punto de origen</i>	133
Figura 97 <i>Verificación de precisión de RPO</i>	134
Figura 98 <i>Resultado de precisión de RPO</i>	134
Figura 99 <i>Registro de niveles de radiación UV detectados en periodo de pruebas</i>	136
Figura 100 <i>Socialización con estudiantes de la Granja Experimental Yuyucocha</i>	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Matricula de grado y posgrado UTN (octubre 2022 – febrero 2023)</i>	44
Tabla 2 <i>Número de estudiantes matriculados FICAYA periodo abril – agosto 2024</i>	45
Tabla 3 <i>Definición de Stakeholders</i>	51
Tabla 4 <i>Denominación de los requerimientos</i>	51
Tabla 5 <i>Requerimientos - Stakeholders</i>	52
Tabla 6 <i>Requerimientos del Sistema</i>	53
Tabla 7 <i>Requerimientos de Arquitectura</i>	54
Tabla 8 <i>Recursos humanos</i>	56
Tabla 9 <i>Elección de Hardware – Microcontrolador</i>	57
Tabla 10 <i>Microcontroladores ESP32</i>	58
Tabla 11 <i>Elección de sensor de radiación UV</i>	59
Tabla 12 <i>Elección del dron</i>	60
Tabla 13 <i>Elección de Dron en base a Requerimientos de Arquitectura</i>	61
Tabla 14 <i>Elección de Base de Datos en la Nube</i>	62
Tabla 15 <i>Elección de Software para desarrollo de aplicación móvil</i>	63
Tabla 16 <i>Consumo de energía de los dispositivos del nodo recolector</i>	67
Tabla 17 <i>Plan de pruebas de funcionamiento</i>	104
Tabla 18 <i>Pruebas de duración de batería de dron y sistema embebido</i>	109
Tabla 19 <i>Calidad de la señal en base a valor de potencia</i>	114
Tabla 20 <i>Resultados de mediciones en diferentes ambientes</i>	123
Tabla 21 <i>Resultados del plan de pruebas</i>	135

CAPÍTULO I: ANTEDECENTES

En este capítulo se detallada los requerimientos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de titulación, siendo estos: el tema elegido, la problemática, los objetivos, el alcance, la justificación con la finalidad de concluir este proyecto de una manera exitosa.

2.1. Tema

Prototipo de monitoreo de radiación UV mediante la programación de rutas automatizadas en un dron para el Campus “Granja experimental Yuyucocha” de la Universidad Técnica del Norte.

2.2. Problema

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI emitió una nueva advertencia para este 19 de junio, porque varias ciudades presentarán índices de radiación UV entre alto y extremadamente alto. Además, las temperaturas diurnas aumentarán en las tres regiones. Al menos 23 ciudades de Ecuador continental y otras tres en las islas Galápagos soportarán un índice de radiación solar o UV ‘muy alta’, este lunes. Mientras que, en Pichincha, particularmente en Quito, el índice UV será ‘extremadamente alto’, informó el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Primicias, 2023).

El INAMHI alerta del nivel de radiación UV que se mantendrá este lunes, 29 de mayo de 2023, en Ecuador. Se indica que la región Sierra tendrá un nivel muy alto de radiación y se recomienda el uso de prendas de vestir con manga larga, gorro o sombrero, gafas de sol, sombrillas, bloqueador de sol. Además, el pronóstico de lluvia se reduce en la región Sierra y parte del perfil costanero. Las lluvias serán ocasionales de variable intensidad al interior de la

región Costa, Galápagos y Amazonía. En este sentido, Quito tendrá una mañana soleada y para la tarde se prevén lluvias. La temperatura variará entre los 9 y 23°C (El Comercio, 2023).

Según el reporte, efectuado por la Agencia Espacial Civil Ecuatoriana (EXA), en la zona ecuatorial existe un descenso en la densidad de la capa de ozono que protege al planeta de la excesiva radiación ultravioleta del sol. Una densidad de dicha capa considerada normal para esta zona alcanza un promedio de 280 a 300 (D.U.). Sin embargo, en los últimos meses de 2009 se detectaron niveles por debajo de 250 (D.U.), llegando en diciembre en ciertas zonas a menos de 225 (D.U.). Esto tiene una relación directa con los niveles de radiación ultravioleta, que en ciudades como Quito, Guayaquil, Cuenca y Salinas alcanzaron hasta 16 UVI (Índice Ultravioleta) en algunos días soleados. Según la Organización Mundial de la Salud, 11 UVI es el máximo tolerable seguro para la exposición humana (BBC News Mundo, 2010).

El melanoma, la forma de cáncer de piel más grave, es ahora uno de los cánceres más comunes entre los adolescentes y los adultos jóvenes de entre 15 y 29 años. Si bien el melanoma solo constituye alrededor de un tres por ciento de los casos de cáncer de piel, causa más del 75 por ciento de las muertes por cáncer de piel. La exposición a la radiación UV y las quemaduras solares, especialmente durante la niñez, son factores de riesgo para la enfermedad. No todos los melanomas están exclusivamente relacionados con el sol; otras influencias posibles incluyen factores genéticos y deficiencias del sistema inmunológico (US EPA, 2015).

En el campus de la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, se presenta una problemática particular relacionada con la exposición a la radiación UV. Este campus es utilizado por estudiantes de las carreras de ingeniería Forestal, ingeniería Agropecuaria e ingeniería Agroindustrial ya que cuenta con laboratorios donde se realizan prácticas preprofesionales, además cuenta con un vivero forestal, y el laboratorio de tecnología

de maderas (Central Maderera), por tanto, los estudiantes que desarrollan actividades en este campus lo hacen mayormente a la intemperie, lo que los expone constantemente a la radiación UV. A pesar de la ubicación geográfica y de la alta exposición solar en esta zona, la mayoría de los estudiantes no están lo suficientemente informados sobre los peligros de la exposición a los rayos UV y carecen de las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas sobre la protección solar.

La implementación de un prototipo de monitorio de los niveles de radiación UV mediante programación de rutas automatizadas en un dron en este campus, junto con la visualización de datos en tiempo real mediante aplicaciones móviles, se presenta como una perspectiva de solución efectiva para abordar el problema. Este prototipo permitirá recopilar datos precisos sobre los niveles de radiación UV y brindar información actualizada a la comunidad universitaria. Al tener acceso a esta información, los estudiantes, profesores y personal del campus podrán tomar medidas preventivas adecuadas, como el uso de protector solar, ropa adecuada y la planificación de actividades al aire libre en momentos de menor radiación UV.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo General

Implementar un prototipo de monitoreo de radiación UV mediante la programación de rutas automatizadas en un dron para el campus de la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, con el fin de proporcionar información en tiempo real sobre los niveles de radiación UV y concientizar a los estudiantes sobre los riesgos asociados.

2.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar información bibliográfica acerca de los efectos de la radiación UV en la salud humana y la programabilidad de rutas automatizadas en drones.

- Determinar los requerimientos de software y hardware necesarios para el desarrollo del diseño del prototipo.
- Diseñar un prototipo de monitoreo de radiación UV basado en la programación de rutas automatizadas en un dron.
- Evaluar los resultados de acuerdo con el plan de pruebas establecido para comprobar el funcionamiento del prototipo.

2.4. Alcance

Esta tesis tiene como objetivo principal implementar un prototipo de monitoreo de radiación ultravioleta (UV) mediante la programación de rutas automatizadas en un dron para el campus de la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte. El propósito de este prototipo es proporcionar información en tiempo real sobre los niveles de radiación UV y concienciar a la comunidad universitaria sobre los peligros asociados con la exposición a los rayos UV.

Para lograr este objetivo, se seguirá la metodología en cascada, que consta de los siguientes pasos: análisis, diseño, implementación y verificación. Cada etapa se describe a continuación:

En la etapa de análisis, se llevará a cabo una investigación exhaustiva sobre los efectos de la radiación UV en la salud humana y la programabilidad de rutas automatizadas en drones. Siguiendo la norma ISO/IEC/IEEE 15288, 2015, se aplicará un enfoque estructurado para la identificación de los requisitos del sistema, considerando las características específicas del campus “Granja Experimental Yuyucocha”, como su tamaño, topografía y ubicación geográfica.

En la etapa de diseño, se desarrollará la arquitectura del sistema en base a los requisitos identificados previamente y se seleccionarán los componentes de hardware y software necesarios

para la implementación del prototipo. Además, se diseñarán las rutas automatizadas que el dron seguirá para cubrir eficientemente el área de interés y se elaborará un plan de pruebas para evaluar el desempeño del prototipo en diferentes escenarios. También se definirá la forma en que los datos de radiación UV serán visualizados en tiempo real a través de aplicaciones móviles y mensajes push.

En la etapa de implementación, se adquirirán los componentes necesarios para el prototipo. Se llevará a cabo la configuración y programación de rutas automatizadas en el dron y la visualización de datos en tiempo real. Se realizarán pruebas de integración para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, asegurando que todos los componentes estén debidamente conectados y se comuniquen de manera efectiva.

Finalmente, en la etapa de verificación, se evaluarán los resultados obtenidos de acuerdo con el plan de pruebas establecido con el fin de comprobar el funcionamiento del prototipo y su eficacia para abordar el problema planteado. Además, se realizarán los ajustes y mejoras necesarias en el prototipo.

El resultado final será un prototipo de monitoreo de radiación UV mediante la programación de rutas automatizadas en un dron, que proporcionará información en tiempo real sobre los niveles de radiación UV mediante una aplicación móvil y notificaciones push. Este prototipo permitirá a los estudiantes y personal del campus Granja Experimental Yuyucocha tomar medidas preventivas adecuadas para protegerse de la radiación UV y tomar decisiones informadas sobre su exposición solar.

2.5. Justificación

La exposición a la radiación ultravioleta (UV) y sus efectos en la salud humana han sido objeto de numerosos estudios y análisis científicos. Según la Organización Mundial de la Salud

(OMS), la radiación UV es una causa principal de cáncer de piel, y la exposición excesiva puede provocar quemaduras solares, daño ocular y envejecimiento prematuro de la piel (Organización Mundial de la Salud, 2022). Estos hallazgos resaltan la importancia de tomar medidas preventivas y monitorear los niveles de radiación UV en entornos expuestos.

En el estudio de Molina et al. (2018), se destaca la necesidad de implementar sistemas de monitoreo y control de radiación UV en áreas donde la exposición a la radiación es elevada. El artículo enfatiza que el monitoreo en tiempo real de los niveles de radiación UV permite a las personas tomar decisiones informadas sobre la protección solar y reducir los riesgos asociados con la exposición prolongada.

Además, en el trabajo de García et al. (2019), se resalta la importancia de utilizar tecnologías de detección de radiación UV para proporcionar información precisa y actualizada. El estudio señala que la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real y la visualización de datos permiten a los individuos y comunidades tomar medidas preventivas, adaptar sus comportamientos y reducir la exposición a la radiación UV.

Asimismo, en la investigación de López et al. (2020), se muestra que la implementación de sistemas de monitoreo y control de radiación UV en entornos específicos, como campus universitarios, contribuye a la conciencia y educación sobre los riesgos de la exposición a la radiación UV. El estudio destaca que la visualización de datos en tiempo real mediante aplicaciones móviles facilita la accesibilidad de la información a la comunidad universitaria, lo que promueve prácticas seguras y medidas de protección adecuadas.

Por tanto, se requiere una solución integral que proporcione información precisa y en tiempo real sobre los niveles de radiación UV en el campus de la Granja Experimental Yuyucocha. La implementación de un prototipo de monitoreo de radiación UV, junto con la

visualización de datos en tiempo real mediante aplicaciones móviles, se presenta como una perspectiva de solución efectiva para abordar este problema. Este prototipo permitirá recopilar datos precisos sobre los niveles de radiación UV en el campus y brindará información actualizada a la comunidad universitaria. Al tener acceso a esta información, los estudiantes, profesores y personal del campus podrán tomar medidas preventivas adecuadas, como el uso de protector solar, ropa adecuada y la planificación de actividades al aire libre en momentos de menor radiación UV.

La implementación de este prototipo de monitoreo de radiación UV y la visualización de datos en tiempo real mediante aplicaciones móviles no solo beneficiará a la comunidad universitaria en términos de salud y prevención, sino que también promoverá la conciencia sobre los peligros de la exposición a la radiación UV y fomentará prácticas seguras en el campus. Asimismo, servirá como una herramienta educativa y de investigación para el estudio de la radiación UV y sus efectos en el entorno de la Granja Experimental Yuyucocha.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

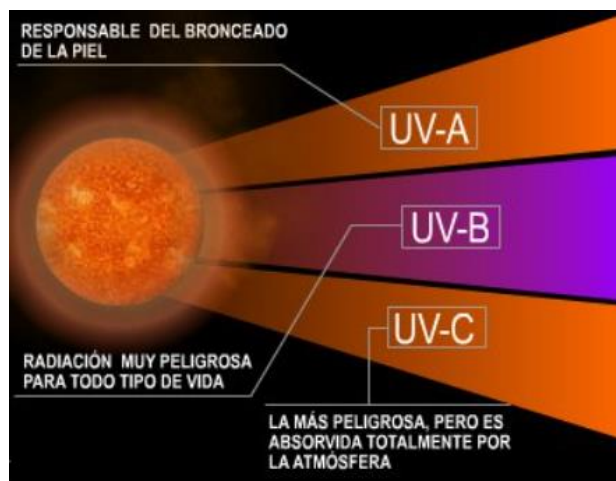
En este capítulo se fundamentará un estudio bibliográfico donde se consideran temas relacionados con el desarrollo del proyecto como son: la radiación ultravioleta, efectos de la radiación ultravioleta en la salud, métodos de medición de la radiación UV, la utilización de drones para fines de medición y conceptos técnicos como la programabilidad de rutas automatizadas en drones.

3.1. Radiación Ultravioleta (UV)

El Sol libera una considerable cantidad de energía hacia la Tierra, siendo solo un 6% a 7% de esta energía atribuible a la radiación ultravioleta (UV). La radiación ultravioleta (UV) constituye una forma de energía radiante imperceptible que abarca un rango de longitudes de onda de 100 a 400 nanómetros. Comúnmente, se divide en tres categorías (UV-C, UV-B y UV-A) según la longitud de onda, siendo la radiación más perjudicial biológicamente aquella de longitud de onda más corta (IDEAM, 2019):

Figura 1

Rayos ultravioleta



Nota. En la figura se observa los tipos de radiación UV. Fuente: IDEAM (2020).

Según su longitud de onda, la radiación ultravioleta (UV) puede clasificarse en:

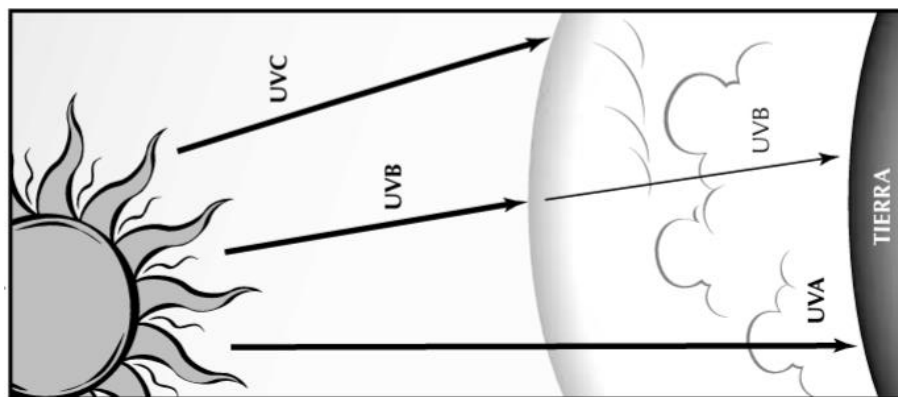
- UV-A entre 320 y 400 nm
- UV-B entre 280 y 320 nm
- UV-C entre 100 y 280 nm

La radiación solar atraviesa la atmósfera de la Tierra antes de alcanzar la superficie, y durante este trayecto, los gases como el ozono, vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono absorben toda la radiación UV-C y el 90% de la UV-B. En contraste, la radiación UV-A experimenta una absorción más tenue (IDEAM, 2019).

Debido a lo mencionado anteriormente, la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre está mayoritariamente compuesta por radiación UV-A (95%) y en menor proporción por UV-B (5%). La radiación UV que alcanza la troposfera desencadena todos los procesos fotoquímicos en las capas inferiores de la atmósfera de la Tierra. Los fotones con longitudes de onda UV poseen el potencial de descomponer moléculas previamente estables en fragmentos altamente reactivos (fotólisis), iniciando así cadenas de reacción que, de otra manera, serían poco probables o incluso imposibles (IDEAM, 2019).

Figura 2

Absorción de la radiación UV en la atmósfera



Nota. La capa de ozono filtra la mayoría de la radiación UV dañina del sol. Fuente: EPA (2020).

Las longitudes de onda más extensas, como la UV-A y UV-B, tienen diversas implicaciones en los procesos biológicos de la Tierra. En cantidades adecuadas, estas longitudes de onda favorecen ciertas funciones de los organismos vivos, pero cuando se acumulan en exceso, sus efectos pueden ser considerablemente perjudiciales (IDEAM, 2019).

3.2. Tipos de radiación UV y sus efectos en la salud

La exposición prolongada a la radiación solar ultravioleta puede generar impactos agudos y crónicos en la salud humana, afectando la piel, los ojos y el sistema inmunológico. Las quemaduras solares son los efectos agudos más reconocidos de una exposición excesiva a la radiación UV. A largo plazo, este daño acumulativo ocasiona alteraciones celulares en diversas capas de la piel, tejido fibroso y vasos sanguíneos, conduciendo al envejecimiento prematuro de la piel o, en casos más graves, a la formación de cáncer, manifestado en tumores, manchas, úlceras, lunares o masas. Además, la radiación UV puede provocar reacciones oculares inflamatorias, como la queratitis actínica. Los efectos biológicos derivados de la sobreexposición a la radiación UV también afectan gravemente a los sistemas vegetales al perturbar las funciones clorofílicas, resultando en una disminución de las cosechas y del fitoplancton marino (Centers for Disease Control and Prevention, 2023).

Existe una correlación entre la energía de un fotón de radiación ultravioleta (UV) y las energías de ligadura presentes en diversas moléculas químicas y biológicas. Por ejemplo, la radiación UV con longitudes de onda inferiores a 240 nm tiene la capacidad de romper los enlaces en la molécula de oxígeno (O₂), dando lugar a la formación posterior de ozono estratosférico. Longitudes de onda cercanas a los 250 nm aumentan la absorción de UV por parte del ADN y otras moléculas intranucleares. Esta propiedad hace que la radiación de 250 nm sea

utilizada como un agente germicida debido a su capacidad para afectar las estructuras celulares (Centers for Disease Control and Prevention, 2023).

3.2.1. Radiación UV-A

La radiación UV-A constituye la forma menos perjudicial de la radiación ultravioleta y es la que llega a la Tierra en mayores cantidades. A pesar de ser menos energética, presenta un riesgo reducido y desempeña un papel en el bronceado de la piel. Los rayos UV-A tienen la capacidad de penetrar en el tejido conectivo y son los principales responsables de la inmunosupresión, así como de lesiones crónicas inducidas por la luz, como el envejecimiento prematuro y la pigmentación de la piel. Además, son causantes de la generación de radicales libres y desencadenan reacciones fototóxicas y fotoalérgicas, como las fotodermatitis poliformes o alergias solares. Los radicales libres, compuestos químicos con electrones libres, poseen una alta reactividad y pueden ocasionar daño en las células de la epidermis y la dermis. La radiación UV-A también puede provocar daños en pinturas y plásticos expuestos a la intemperie (Centers for Disease Control and Prevention, 2023).

3.2.2. Radiación UV-B

La radiación UV-B, con longitudes de onda que oscilan entre 280 y 320 nm, alcanza la Tierra de manera significativamente atenuada por la capa de ozono. Esta radiación, al llegar a la superficie terrestre, posee un potencial dañino, ya que puede afectar el crecimiento de las plantas y la exposición humana prolongada a este tipo de radiación puede ocasionar diversos daños a la salud (Meteo Navarra, 2020).

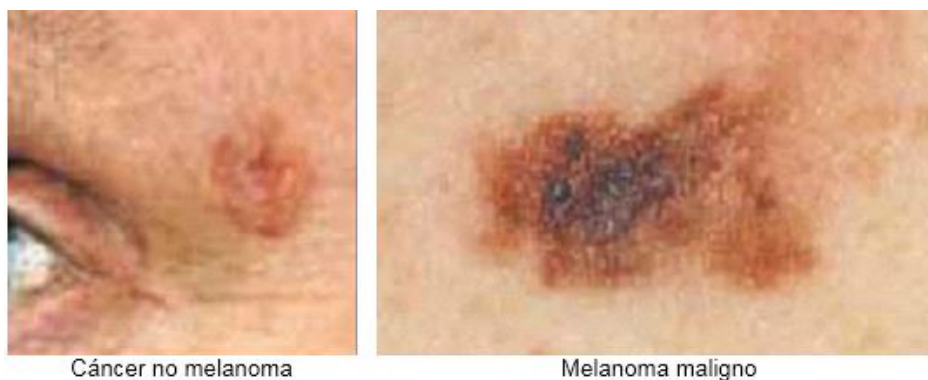
Según Meteo Navarra (2020), los daños en la piel van desde simples quemaduras (eritema solar) hasta mutaciones en el ADN de las células cutáneas, las cuales tienen el potencial de evolucionar hacia el cáncer de piel. Este tipo de cáncer puede manifestarse muchos años

después de una exposición excesiva al sol, ya que la radiación UV-B es absorbida por el ADN dérmico y penetra en las capas celulares más profundas de la epidermis. A nivel mundial, se registran entre 2 y 3 millones de casos de cáncer de piel no melánico anualmente, junto con aproximadamente 132,000 casos de cáncer de piel melánico. Este tipo de cáncer, asociado a los lunares, es el más letal en la piel debido a su alta capacidad metastásica, lo que implica la diseminación de células cancerígenas a otras partes del organismo. La radiación UV-B, por ser bastante energética, puede provocar daños celulares degenerativos al romper los enlaces de las moléculas de ADN, que son portadoras de nuestro código genético.

La radiación UV-B puede resultar en una disminución de la eficiencia del sistema inmunológico, incrementando el riesgo de infecciones y reduciendo la eficacia de las vacunas. Esto se debe a que la radiación UV-B actúa como un agente inmunosupresor local, causando daño a las células de Langerhans, las cuales son responsables de la presentación de antígenos en la epidermis. En respuesta a la radiación UV, estas células de Langerhans tienden a emigrar desde la epidermis, afectando así su capacidad para desempeñar su papel inmunológico normal (Meteo Navarra, 2020).

Figura 3

Efectos de la radiación UV sobre la salud



Nota. Consecuencias de la radiación UV sobre la piel. Tomado de Global Solar UV (2022).

Entre 12 y 15 millones de personas experimentan ceguera debido a cataratas. Según cálculos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), hasta un 20% de estos casos de ceguera podrían haber sido causados o exacerbados por la exposición al sol, especialmente en regiones cercanas al ecuador (Meteo Navarra, 2020).

La exposición continua al sol también conduce a la formación de pterigios (crecimiento de tejido fibroso sobre la córnea) y lesiones en la retina que resultan en pérdida visual permanente. Este tipo de exposición genera asimismo rugosidades en la piel, así como manchas claras y oscuras (conocidas como hipopigmentaciones o hiperpigmentaciones), y ocasiona daños a otras formas de vida. En animales, puede causar perjuicios en la piel y los ojos, junto con alteraciones en los procesos de producción de vegetales, entre otros efectos. Además, la radiación UV-B puede provocar daños en materiales y equipos que se encuentren expuestos a la intemperie (Organización Mundial de la Salud, 2022).

3.2.3. Radiación UV-C

Los rayos UV-C representan la forma más perjudicial de la radiación ultravioleta, ya que son altamente energéticos. Sin embargo, es importante señalar que esta radiación es absorbida por el oxígeno y el ozono presentes en la estratosfera, lo que impide que alcance la superficie terrestre. Por lo tanto, los rayos UV-C no llegan a afectar directamente a la superficie de la Tierra debido a este fenómeno de absorción atmosférica (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Según la Organización Mundial de la Salud (2022), a pesar de los efectos negativos asociados con la radiación UV, cantidades moderadas de esta radiación son beneficiosas para las personas y son esenciales para la síntesis dérmica de la vitamina D. Además, la radiación UV se utiliza bajo supervisión médica para el tratamiento de diversas enfermedades, como el raquitismo, la psoriasis y el eczema.

En última instancia, se considera que el comportamiento de las personas en relación con la exposición solar es la principal causa del aumento de las tasas de cáncer de piel en las últimas décadas. El aumento de actividades al aire libre y nuevos hábitos al tomar el sol a menudo resultan en una exposición excesiva a la radiación UV. A muchas personas les parece normal exponerse intensamente al sol; lamentablemente, incluso niños, adolescentes y sus padres consideran que el bronceado es un símbolo de belleza y buena salud (Organización Mundial de la Salud, 2022).

3.3. Factores que influyen en los niveles de radiación UV

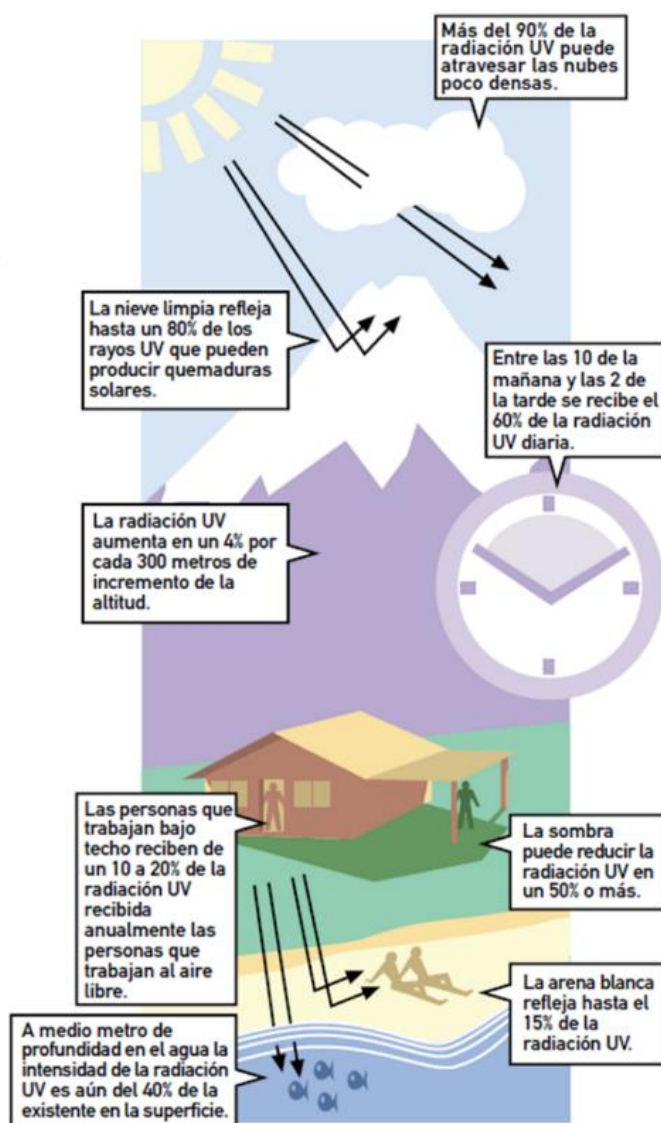
Los niveles de radiación UV en la superficie están influenciados por diversos factores, incluyendo la posición del Sol, altitud, latitud, cobertura de nubes, cantidad de ozono en la atmósfera y reflexión terrestre. Estos niveles experimentan variaciones a lo largo del día y del año. Las concentraciones más elevadas se registran durante el día, entre las 10 a.m. y las 2 p.m., cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación (aproximadamente el 60% de la radiación UV se recibe durante estas horas). Cuando el ángulo del Sol es más bajo, menos radiación UV llega a la superficie terrestre debido a que atraviesa una mayor distancia en la atmósfera y encuentra más moléculas de ozono, lo que resulta en una mayor absorción. En regiones fuera de los trópicos, los niveles máximos suelen observarse durante los meses de verano alrededor del mediodía. En los trópicos, donde los rayos solares inciden más directamente, los mayores niveles de radiación en la parte superior de la atmósfera ocurren a principios de año durante el perihelio (cuando la Tierra está más cerca del Sol) y los niveles más bajos a mitad de año durante el afelio (cuando la Tierra está más alejada del Sol) (Instituto Meteorológico Nacional C.R., 2021).

La altitud también desempeña un papel crucial en la cantidad de radiación UV que alcanza la superficie, ya que, en zonas de alta montaña, la capa atmosférica que los rayos solares

deben atravesar es más delgada. Por lo tanto, a mayor altitud, la radiación UV es mayor. En términos generales, se estima que, por cada 1000 metros de aumento en la altitud, la radiación UV aumenta entre un 10% y un 12%. Las nubes también tienen un impacto significativo en la cantidad de radiación UV que llega a la superficie terrestre (Instituto Meteorológico Nacional C.R., 2021).

Figura 4

Factores que influyen en los niveles de radiación UV



Nota. Factores que influyen en la radiación UV. Fuente: Global Solar UV (2022).

La presencia de nubes afecta la cantidad de radiación UV que alcanza la superficie terrestre, ya que las gotas de agua y los cristales de hielo en las nubes actúan como eficaces difusores de radiación UV a través del fenómeno conocido como difusión Mie. En este proceso, la radiación se dispersa en varias direcciones, lo que puede reducir la cantidad de UV que llega directamente a la superficie. De manera similar, la contaminación atmosférica urbana opera de manera análoga a las nubes, disminuyendo la cantidad de radiación UV que alcanza la superficie terrestre. La contaminación tiene un efecto negativo en la transmisión de la radiación UV, lo que impacta directamente en la exposición a esta forma de radiación en entornos urbanos (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2021).

Figura 5

Categoría de exposición y medidas de protección recomendadas



Nota. Recomendaciones según el nivel de radiación UV. Fuente: CEAMET (2023).

3.4. Instrumentos de medida de la radiación UV

La radiación solar se mide directamente mediante instrumentos conocidos como radiómetros y se puede estimar mediante modelos matemáticos que relacionan la radiación con la luminosidad solar. Los radiómetros solares, como los piranómetros o solarímetros, y los pirheliómetros, dependiendo de sus características, son útiles para medir la radiación solar incidente global (suma de la radiación directa y difusa), la radiación directa (proveniente del rayo

solar), la radiación difusa, la radiación neta y el brillo solar. La clasificación de los radiómetros puede basarse en diversos criterios, como el tipo de variable a medir, el campo de visión, la respuesta espectral y el propósito principal de su uso (Estatad de Meteorología, 2019).

3.4.1. Piranómetro

De acuerdo con el Estadad de Meteorología (2019), el piranómetro es el instrumento más utilizado en la medición de la radiación solar. Su función es medir la radiación semiesférica directa y difusa (la suma de ambas constituye la radiación global) sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados. Logra esto mediante la diferencia de calentamiento entre dos sectores alternados de blanco y negro en un pequeño disco plano. Cuando el dispositivo se expone a la radiación solar, los sectores negros se calientan más que los blancos. Esta diferencia de temperatura se puede detectar electrónicamente, generando un voltaje proporcional a la radiación solar incidente. Factores como el viento, la lluvia y las pérdidas térmicas al ambiente pueden influir en la variación de la temperatura. Por lo tanto, el piranómetro incluye una cúpula de vidrio óptico transparente que protege el detector, permite la transmisión isotrópica del componente solar y filtra la radiación en el rango de longitudes de onda de aproximadamente 280 a 2,800 nm.

Figura 6

Tipos de piranómetros empleados en la medición de radiación UV



Nota. Variaciones de piranómetros para radiación UV. Fuente: Thies Clima (2022).

3.4.2. Pirheliómetros

Los pirheliómetros de cavidad absoluta cuentan con dos cavidades cónicas idénticas, una externa que se calienta por la exposición a la radiación solar y otra interna que se calienta mediante energía eléctrica hasta alcanzar la misma temperatura que la cavidad externa. Cuando las temperaturas se igualan, se puede considerar que la energía eléctrica consumida representa el valor de la radiación solar incidente. Por otro lado, el pirheliómetro secundario se calibra mediante la comparación con un pirheliómetro de cavidad absoluta y está equipado con un sensor de termopila. Para su funcionamiento, requiere un sistema de seguimiento solar. Dada la complejidad de estos sistemas, las mediciones de la componente directa de la radiación solar se realizan raramente, y su fiabilidad no es muy alta (Especialización en Sistemas Fotovoltaicos, 2022).

3.4.3. Actinógrafo

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2020), el actinógrafo es un instrumento destinado a registrar la radiación global y opera mediante un sensor termomecánico protegido por una cúpula de vidrio. Su estructura comprende un arreglo bimetalico con dos superficies, una de color negro para absorber las ondas electromagnéticas de la radiación solar, y otra de color blanco para reflejarlas, generando así una diferencia de temperatura. Esta diferencia provoca una curvatura en la placa negra, la cual se amplifica mediante palancas y se transmite a un tambor accionado por un mecanismo de reloj, creando una gráfica que registra los valores de radiación global. La precisión de los valores obtenidos con este instrumento se sitúa en el orden de $\pm 8\%$. Es crucial recalibrar estos instrumentos anualmente utilizando un patrón secundario. Cabe destacar que el actinógrafo se distingue de un

piranómetro en que su sensor es una lámina bimetálica, mientras que el del piranómetro es una termopila.

3.5. Uso de drones para la investigación y el monitoreo ambiental

Según TS2 Space (2023), los drones son herramientas especialmente útiles en la investigación y monitoreo ambiental, ya que tienen la capacidad de acceder a áreas difíciles o incluso imposibles de alcanzar para los humanos. Estos dispositivos pueden emplearse para vigilar zonas remotas del océano, bosques y otros hábitats naturales. Asimismo, son valiosos para seguir cambios en el entorno a lo largo del tiempo, como los efectos del cambio climático. Un uso destacado de los drones es el monitoreo de poblaciones de vida silvestre, permitiendo a los investigadores rastrear movimientos, evaluar la salud y observar el comportamiento de los animales. Los datos recopilados proporcionan una mejor comprensión del impacto de las actividades humanas en las poblaciones de vida silvestre.

Los drones están siendo empleados para monitorizar la calidad del aire y del agua. Utilizando sensores y cámaras, estos dispositivos tienen la capacidad de identificar contaminantes en el aire y el agua, así como cambios en los niveles del agua. La información recopilada se convierte en una herramienta valiosa para identificar las fuentes de contaminación y desarrollar estrategias efectivas para reducir el impacto de la contaminación (TS2 Space, 2023).

3.5.1. Beneficios del uso de drones

De acuerdo con TS2 Space (2023), una de las principales ventajas de utilizar drones en la investigación y el monitoreo ambiental radica en su capacidad para cubrir grandes áreas de manera rápida y eficiente. Este enfoque permite a los investigadores recopilar datos de una amplia variedad de ubicaciones en un corto período de tiempo, proporcionándoles una

comprensión más completa del entorno. La habilidad de los drones para acceder a áreas de difícil alcance, como ubicaciones remotas o terrenos difíciles, amplía las posibilidades de recopilación de datos en lugares que de otra manera serían inaccesibles.

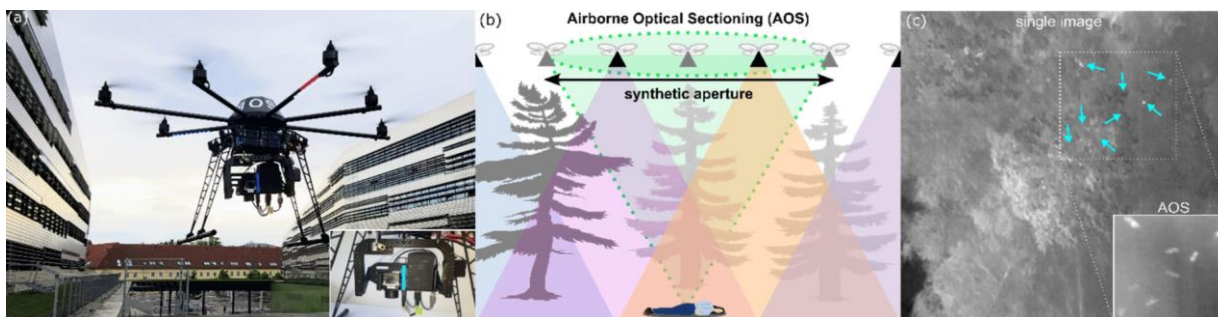
Los drones tienen la capacidad de recopilar datos de diversas maneras. Pueden estar equipados con sensores diseñados para medir factores ambientales como la temperatura y la humedad. Además, tienen la capacidad de llevar cámaras que capturan imágenes de alta resolución del entorno. Estos datos resultan valiosos para monitorear cambios en el medio ambiente a lo largo del tiempo. Un aspecto destacado es la relativa economía de los drones en comparación con otros métodos de investigación y monitoreo ambiental, lo que los convierte en una opción atractiva para investigadores que operan con recursos financieros limitados (TS2 Space, 2023).

3.5.2. Impacto de los drones en los esfuerzos de conservación ambiental

Según TS2 Space (2023), los drones desempeñan un papel crucial en la monitorización de poblaciones de vida silvestre, la vigilancia de la caza furtiva ilegal y la detección de la tala ilegal. Además, se utilizan para evaluar la salud de bosques, humedales y otros ecosistemas. Al proporcionar imágenes y videos detallados de estas áreas, los drones facilitan a los conservacionistas la identificación de zonas de interés y la implementación de medidas para su protección. También se emplean para supervisar la calidad del aire y del agua, recopilando datos sobre la contaminación. De esta manera, los drones ayudan a los conservacionistas a identificar fuentes de contaminación y tomar medidas para mitigarla. Estos datos resultan útiles para informar decisiones políticas y desarrollar estrategias de conservación más efectivas.

Figura 7

Dron autónomo para fines ambientales



Nota. Drones autónomos diseñados con fines de búsqueda y rescate. Tomado de MDPI

Además, se están empleando drones para monitorizar el cambio climático. Al recopilar datos sobre temperatura, humedad y otros factores ambientales, estos dispositivos facilitan a los conservacionistas una mejor comprensión de los efectos del cambio climático. Además, permiten el desarrollo de estrategias para mitigar los impactos derivados de dicho cambio (TS2 Space, 2023).

3.6. Sistema de navegación por waypoints de un dron

El uso de drones en diversas aplicaciones está experimentando un aumento en popularidad. Uno de los aspectos más destacados de la tecnología de drones es su capacidad para navegar utilizando puntos de referencia. Los sistemas de navegación de waypoints posibilitan que los drones vuelen de manera autónoma de un punto a otro, lo que los convierte en herramientas ideales para una variedad de tareas (TS2 Space, 2023).

3.6.1. Conceptos básicos de los sistemas de navegación de punto de ruta

Según TS2 Space (2023), los sistemas de navegación de waypoint emplean coordenadas GPS para determinar la ubicación del dron y la dirección que debe seguir. En este sistema, el dron se programa con una serie de waypoints, que son ubicaciones predeterminadas que debe alcanzar para completar su misión. Durante su trayectoria de un punto de referencia al siguiente,

el dron puede ser programado para llevar a cabo tareas específicas, como la captura de fotografías o la recopilación de datos.

El sistema de navegación por waypoints consta de varios componentes, en primer lugar, el dron en sí mismo debe estar equipado con un receptor GPS y un controlador de vuelo. El controlador de vuelo asume la responsabilidad de dirigir los movimientos del dron y garantizar que siga los puntos de ruta programados. Simultáneamente, el receptor GPS se utiliza para determinar la ubicación del dron y la dirección que debe seguir durante su trayectoria. El segundo componente del sistema de navegación por waypoints es el planificador de misiones, este es un programa de software destinado a crear los waypoints y programar la misión del dron. A través del planificador de misiones, el usuario tiene la capacidad de diseñar un plan de vuelo que incluye los puntos de ruta necesarios y cualquier tarea específica que el dron deba realizar en cada uno de esos puntos. Finalmente, el tercer componente del sistema de navegación por waypoints es la estación terrestre. Esta consiste en una computadora utilizada para supervisar el progreso del dron y realizar ajustes necesarios al plan de la misión. Además, la estación terrestre posibilita el control en tiempo real de los movimientos del dron, lo que permite al usuario efectuar cambios en el plan de la misión sobre la marcha. Los sistemas de navegación de waypoints están ganando popularidad en diversas aplicaciones, desde operaciones de búsqueda y rescate hasta topografía agrícola. La programación de drones para volar de manera autónoma de un punto a otro mediante el uso de waypoints los posiciona como herramientas ideales para una amplia variedad de tareas (TS2 Space, 2023).

3.6.2. Componentes de un sistema de navegación de puntos de ruta

Según HPDrones (2020), un sistema de navegación por waypoints para drones es una infraestructura compleja que faculta a los drones para navegar de manera autónoma entre

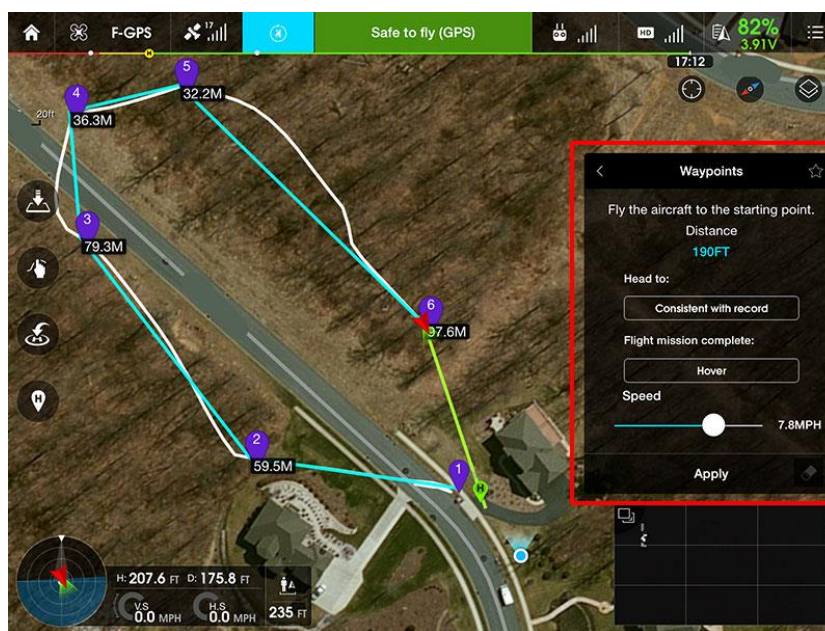
diferentes puntos. Este sistema está constituido por varios componentes que colaboran entre sí para asegurar que el dron alcance su destino de manera segura y eficiente.

El primer componente de un sistema de navegación por waypoints para drones es el controlador de vuelo. Este componente principal tiene la responsabilidad de dirigir los movimientos del dron y supervisar la navegación general. Su función incluye recibir las órdenes del usuario, calcular la ruta hacia el destino y controlar los motores del dron (HPDrones, 2020).

El segundo componente es el receptor GPS, este elemento recibe señales provenientes de los satélites GPS y las emplea para determinar la ubicación precisa del dron. La información recopilada por el receptor GPS es utilizada por el controlador de vuelo para calcular la ruta hacia el destino deseado. Por último, el tercer componente es el piloto automático, encargado de controlar los motores del dron y otros componentes para garantizar que este siga de manera precisa la ruta calculada por el controlador de vuelo (HPDrones, 2020).

Figura 8

Configuración de waypoints en dron



Nota. Programación de waypoints o rutas en un dron DJI. Tomado de DJI Forum

De acuerdo con HPDrones (2020), el cuarto componente es el sistema de navegación por waypoints. Este componente tiene la responsabilidad de establecer los waypoints que el dron debe seguir para llegar a su destino. Los waypoints son puntos predeterminados que el dron debe atravesar en su trayecto hacia el destino final. Finalmente, el quinto componente es el sistema de evitación de obstáculos, encargado de detectar y esquivar posibles obstrucciones que puedan encontrarse en el camino del dron. Esta función asegura que el dron evite colisionar con cualquier objeto durante su navegación hacia el destino. Comprender estos componentes en un sistema de navegación por waypoints para drones permite a los usuarios garantizar que sus drones lleguen a su destino de manera segura y eficiente.

3.6.3. Beneficios de los sistemas de navegación de puntos de ruta de drones

El uso de sistemas de navegación por puntos de referencia para drones está ganando popularidad en diversas industrias. Estos sistemas posibilitan la programación de drones para volar hacia ubicaciones predeterminadas, convirtiéndolos en herramientas invaluable para una variedad de aplicaciones. En este contexto, se examinan los beneficios de los sistemas de navegación por waypoints para drones. Una de las principales ventajas de los sistemas de navegación por waypoints para drones es su precisión. Al programar un dron para volar hacia ubicaciones predeterminadas, los usuarios pueden asegurarse de que el dron llegará a su destino con una precisión milimétrica. Esta característica resulta especialmente útil en aplicaciones como la topografía, donde la precisión desempeña un papel primordial (HPDrones, 2020).

Otro beneficio de los sistemas de navegación por waypoints para drones es su eficiencia. Este enfoque puede resultar en ahorro de tiempo y dinero, además de reducir el riesgo de que el dron se quede sin batería antes de alcanzar su destino. Finalmente, los sistemas de navegación por waypoints para drones pueden utilizarse para garantizar la seguridad del dron. Al programar

un dron para volar hacia ubicaciones predeterminadas, los usuarios pueden asegurarse de que el dron evite ingresar a espacios aéreos restringidos u otras áreas peligrosas. Este enfoque puede contribuir a reducir el riesgo de accidentes y asegurar que el dron permanezca seguro durante todo su vuelo (HPDrones, 2020).

3.6.4. Desafíos de los sistemas de navegación de puntos de ruta de drones

Conforme a Dispatch Track (2019), uno de los principales desafíos de los sistemas de navegación por waypoints para drones es la precisión del sistema de navegación. Para que el dron llegue a su destino, el sistema de navegación debe poder determinar con precisión la ubicación del dron y el destino. Esto implica que el sistema de navegación debe medir con exactitud la posición del dron y la dirección en la que se desplaza. Además, el sistema de navegación debe ser capaz de calcular con precisión la distancia entre el dron y su destino.

Otro desafío de los sistemas de navegación por waypoints para drones es la capacidad de predecir con precisión la ruta que tomará el dron. Esto implica que el sistema de navegación debe ser capaz de anticipar con exactitud el terreno y los obstáculos que el dron encontrará en su trayecto. Además, el sistema de navegación debe tener la capacidad de prever con precisión la velocidad y la dirección del viento, ya que estos factores pueden influir en la trayectoria de vuelo del dron. Finalmente, el sistema de navegación debe ser capaz de controlar con precisión la velocidad y la altitud del dron. Esto implica que el sistema de navegación debe poder medir con exactitud la velocidad y la altitud del dron y ajustarlas en consecuencia. Además, el sistema de navegación debe tener la capacidad de ajustar con precisión la velocidad y la altitud del dron para evitar obstáculos y mantener una ruta de vuelo segura (Dispatch Track, 2019).

3.6.5. Proyección de los sistemas de navegación de waypoints

Conforme a Dispatch Track (2019), el desarrollo de sistemas efectivos de navegación por waypoints para drones es fundamental para el uso exitoso de drones en diversas aplicaciones. Al abordar los desafíos mencionados anteriormente, los desarrolladores pueden asegurar que estos sistemas sean precisos y confiables. Los desarrollos recientes en el campo de los sistemas de navegación han dado lugar a la aparición de sistemas de navegación autónomos, que posibilitan que los drones naveguen sin la necesidad de puntos de ruta preprogramados. Estos sistemas emplean una combinación de sensores, como GPS, cámaras y lidar, para detectar y evitar obstáculos, así como para identificar y seguir caminos.

Las ventajas de los sistemas de navegación autónomos son evidentes. Estos sistemas posibilitan que los drones naveguen de manera más rápida y precisa, y son aplicables en diversos entornos, incluyendo áreas urbanas y bosques. Además, se consideran más confiables en comparación con los sistemas tradicionales de navegación por waypoints, ya que no dependen de rutas preprogramadas. Sin embargo, aún existen desafíos que deben abordarse antes de que los sistemas de navegación autónomos puedan ser ampliamente adoptados. Entre estos desafíos se encuentra la necesidad de mejorar la precisión de los sensores utilizados en estos sistemas y perfeccionar los algoritmos utilizados para interpretar los datos. Además, se requiere una reducción en el costo de estos sistemas para que sean más accesibles para el operador promedio de drones (Dispatch Track, 2019).

3.7. Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia en Ecuador

La normativa sobre el uso de drones, emitida por la Dirección General de Aviación Civil, conocida como el Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs), fue publicada el 4 de noviembre de 2020. Este reglamento se aplica a aeronaves con un peso máximo

de despegue superior a 0,25 kilogramos y hasta 150 kilogramos. Según el documento de la DGAC, los propietarios de drones están obligados a registrar sus aeronaves y adquirir un seguro para cubrir posibles daños a terceros derivados de sus actividades de vuelo, con opciones de cobertura de USD 3,000, USD 6,000 y USD 12,000 según el peso máximo de despegue. El reglamento prohíbe la operación de drones cerca de aeródromos, zonas de seguridad del Estado, helipuertos, y otras áreas designadas como intangibles. Se establece una distancia mínima de 9 kilómetros para acceder a estos espacios aéreos controlados. Además, el documento limita la altura máxima de vuelo a 400 pies (122 metros) sobre el terreno y establece que las operaciones solo son permitidas entre la salida y puesta del sol, en condiciones meteorológicas adecuadas para garantizar la visibilidad (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PROTOTIPO

El presente capítulo describe el diseño del prototipo de monitoreo de radiación UV mediante la programación de rutas automatizadas en un dron en base a la metodología en cascada, la cual comprende las etapas de requisitos, diseño, implementación, pruebas y despliegue. Siguiendo esta metodología, se recopilarán los requerimientos importantes mediante un análisis de las características del campus Granja Experimental Yuyucocha, con el fin de establecer el funcionamiento del sistema detallado el software y hardware requeridos para el desarrollo del prototipo.

4.1. Análisis de requisitos

Durante la elaboración de este proyecto, surgen preguntas que orientan el progreso secuencial del diseño. Por ende, en cada etapa de la investigación, se lleva a cabo simultáneamente el análisis del entorno, los requisitos y, especialmente, la identificación de los actores sociales involucrados en el proyecto.

4.1.1. Situación actual

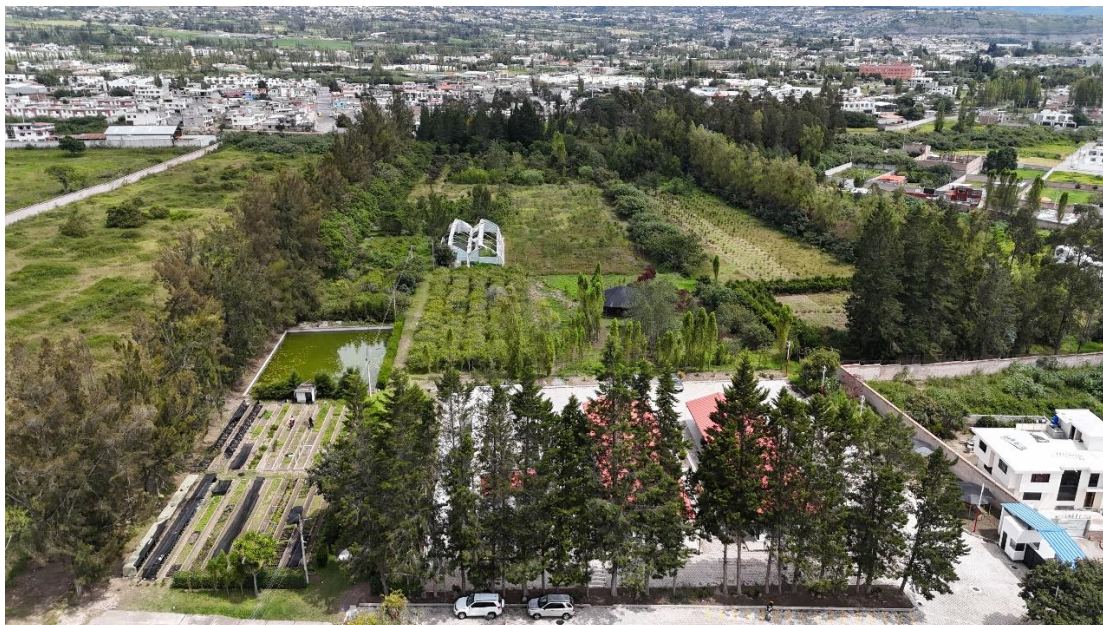
Uno de los pilares esenciales de este proyecto implica examinar la situación actual, permitiendo así comprender la condición actual del problema. Esto posibilitará la definición de los requisitos necesarios, los cuales serán tomados en cuenta durante la fase de diseño y construcción tanto de hardware como de software del sistema.

La Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, se encuentra ubicada en la Av. Capitán Espinoza de los Monteros - Ciudadela Municipal, abarca una extensión de 67,000 metros cuadrados y está equipada con laboratorios, un vivero forestal y el

laboratorio de tecnología de maderas (Central Maderera). Ha sido el escenario de numerosos trabajos de investigación, incluyendo tesis de grado en áreas agrícolas y forestales.

Figura 9

Campus Granja Experimental Yuyucocha



Elaborada por el autor

En su mayoría, los estudiantes que realizan actividades de campo abierto en el la Granja Experimental Yuyucocha no son conscientes de los riesgos asociados a la exposición directa al sol en determinadas horas del día, por tal motivo es necesario un sistema que sea capaz de detectar los niveles de radiación UV, enviando alertas en tiempo real, que permitan tomar las respectivas acciones por parte de los estudiantes para prevenir incidentes como quemaduras y enfermedades de la piel a largo plazo como el cáncer, envejecimiento prematuro e inclusive cataratas, debido a la constante exposición a la radiación UV sin protección.

La principal causa de este tipo de enfermedades producidas por la radiación UV es la falta de información en la sociedad, más comúnmente en los jóvenes de entre 15 y 29 años que no son conscientes de los riesgos o no están informados sobre estos, en consecuencia, es

necesario encontrar una solución que sea capaz de cumplir con el objetivo de informar y concientizar a los estudiantes del campus en caso de que se presente un índice elevado de UV.

Según el sitio web oficial de la “Universidad Técnica del Norte” en este campus, realizan las prácticas preprofesionales por asignaturas los estudiantes de las Carreras de ingeniería Forestal, ingeniería Agropecuaria e ingeniería Agroindustrial. En el boletín estadístico del año 2022 de la UTN se detalla el número de estudiantes matriculados por facultad en el ciclo académico octubre 2022 – febrero 2023, estos datos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Matricula de grado y posgrado UTN (octubre 2022 – febrero 2023)

Facultades	Masculino	Femenino	Total
FECYT	1613	3118	4731
FACAE	1252	1854	3106
FICA	1632	437	2069
SALUD	492	1127	1619
POSGRADO	579	915	1494
FICAYA	550	687	1237

Fuente: Sistema Informático Integrado Universitario (SIIU)

En la Tabla 2 se detalla el número de estudiantes matriculados por carrera en el periodo abril – agosto 2024 de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA).

Tabla 2

Número de estudiantes matriculados FICAYA periodo abril – agosto 2024

Carrera	Femenino	Masculino	Total
Agropecuaria	135	121	256
Agroindustria	130	110	240
Recursos Naturales R	117	80	197
Forestal	115	69	184
Biotecnología	152	86	238
Energías Renovables	38	84	122

Fuente: Sistema Informático Integrado Universitario (SIIU)

En la actualidad, el equipo más común diseñado para monitorear el índice ultravioleta es el solmáforo el cual puede encontrarse en puntos estratégicos de algunas ciudades, este dispositivo de señalización evalúa los niveles de radiación ultravioleta y notifica a la población a través de un código de 5 colores establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), también es capaz de proporcionar recomendaciones para protegerse de la radiación solar de acuerdo con la intensidad. El área cercana al Campus Granja Experimental Yuyucocha no cuenta con un solmáforo que permita informar a los estudiantes de los niveles de radiación UV presentes, a diferencia del presente proyecto que propone realizar un monitoreo continuo de los niveles de radiación UV en el área de interés y enviar alertas en tiempo real a los estudiantes que se encuentren en la zona.

4.1.2. Encuesta

La encuesta se establece como un método de investigación cuantitativa fundamental para el presente proyecto. Dicha elección se justifica por la interacción directa que el prototipo

mantendrá con el usuario final. Recolectar datos pertinentes es fundamental para adecuar el diseño a las necesidades del usuario y garantizar la realización óptima del prototipo. La encuesta abordará temas esenciales, tales como la viabilidad de la implementación del prototipo y las preferencias del usuario en cuanto a la interacción con el mismo. Inicialmente se requiere obtener el tamaño de la población de estudiantes que realizan actividades de campo abierto en el Campus Granja Experimental Yuyucocha, según datos obtenidos en el departamento de secretaria de la FICAYA, los estudiantes de los diferentes niveles de la carrera de Ingeniería Forestal desempeñan mayoritariamente prácticas y laboratorios en dicho campus, por tanto se considera un total de 184 estudiantes como se detalló en la Tabla 2, este valor representa el 1,29% del total de estudiantes de la comunidad universitaria y a nivel de facultad representa el 14,87%.

En el siguiente apartado, se procede a realizar el cálculo para obtener el tamaño de la muestra de la población de estudiantes de la carrera de Ingeniera Forestal que realizan prácticas y practicaslaboratorios en el Campus Granja Experimental Yuyucocha, para ello se emplea la Ec. 1, propuesta por Murray y Larry (2005).

$$n = \frac{N * Z^2 * \sigma^2}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra que se pretende extraer de la población.

N = Indica el tamaño total de la población.

Z = Es el resultado obtenido a través de los niveles de confianza. Este valor es una constante, generalmente existen dos valores según el grado de confianza deseado. El valor más

alto corresponde a un 99% de confianza (equivalente a 2.58), mientras que el valor mínimo aceptado para considerar la investigación como confiable es del 95% (equivalente a 1.96, siendo el más comúnmente utilizado).

σ = Representa la desviación estándar de la población. En situaciones donde esta desviación no es conocida, es frecuente emplear un valor constante que generalmente se establece en 0.5.

e = Denota el límite aceptable de error muestral, usualmente variando entre el 1% (0.01) y el 9% (0.09), siendo el valor más comúnmente utilizado en investigaciones el 5% (0.05).

Para llevar a cabo los cálculos del tamaño de muestra destinado a la encuesta en este proyecto, se procede a aplicar la Ec. 1, teniendo en cuenta los siguientes datos para determinar el tamaño de la muestra.

$$N = 184$$

$$\sigma = 0,5$$

$$Z = 1.96 \text{ (95\%)}$$

$$e = 0.09 \text{ (9\%)}$$

$$n = \frac{184 * (1.96)^2 * (0.5)^2}{(0.09)^2 * (184 - 1) + (1.96)^2 * (0.5)^2}$$

$$n = \frac{176.71}{2.4427}$$

$$n = 72.34$$

Con base en el resultado obtenido al realizar el cálculo utilizando la Ec. 1 y considerando los datos proporcionados, se determina que la encuesta se llevará a cabo con la participación de 72 individuos. Estos participantes contribuirán al avance del proyecto mediante sus aportes.

El propósito de llevar a cabo la encuesta es exponer las opiniones de los estudiantes que están directamente implicados. En este sentido, se plantean preguntas cerradas con el objetivo de evaluar la viabilidad de la implementación del sistema.

4.1.2.1. Resultados de la encuesta.

Una vez completada la encuesta dirigida a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal, se procede a analizar los resultados presentados, como se detalla en el Anexo 2, para determinar la viabilidad de ejecutar el proyecto basándonos en los resultados obtenidos:

- Pregunta 1 - ¿Qué tan consciente está sobre los riesgos asociados con la exposición a la radiación UV?

El resultado de la encuesta revela que el 53% de los estudiantes se consideran poco conscientes de los riesgos asociados con la exposición a la radiación UV. Esto destaca la necesidad de implementar un sistema que informe sobre los niveles de radiación UV y concientice acerca de los riesgos y complicaciones relacionados.

- Pregunta 2 - ¿Cree que es necesario un sistema de alerta de los niveles de radiación UV?

Los resultados de la encuesta indican que el 84% de los estudiantes están a favor de la implementación de un sistema de alerta para los niveles de radiación UV. Esto resalta la importancia y viabilidad de establecer un sistema de monitoreo de radiación UV, capaz de proporcionar información precisa sobre los niveles de exposición.

- Pregunta 3 - ¿Le gustaría recibir alertas en tiempo real de los niveles de radiación UV presentes en su zona?

El resultado de la encuesta revela que el 88% de los encuestados expresaron su interés en recibir alertas en tiempo real sobre los niveles de radiación UV en su área. Esto

destaca la importancia de que el sistema proporcione datos actualizados al momento para que los estudiantes puedan tomar medidas y acciones.

- Pregunta 4 - ¿Cree que es de mayor prioridad destinar el sistema de alerta de los niveles de radiación UV a estudiantes que realizan actividades de campo abierto?

El resultado de la encuesta muestra que el 86% de los encuestados considera prioritario destinar el sistema de alerta de niveles de radiación UV a estudiantes que participan en actividades al aire libre. Esto sugiere la importancia de implementar el prototipo en áreas donde los estudiantes llevan a cabo laboratorios y prácticas en campo abierto.

- Pregunta 5 - ¿Ha sufrido quemaduras o irritaciones en la piel debido a la exposición directa y prolongada al sol en alguna ocasión?

El resultado de la encuesta indica que el 79% de los encuestados no ha experimentado quemaduras o irritaciones en la piel debido a la exposición prolongada al sol en algún momento. Esto resalta la necesidad de concienciar a estos estudiantes sobre las posibles consecuencias de la exposición prolongada al sol mediante la implementación del sistema de alerta.

4.1.3. Descripción general del sistema

En esta sección se detalla la organización y la construcción del prototipo con rutas programables en un dron, el desarrollo del prototipo de monitoreo de radiación UV será implementado en el Campus Granja Experimental Yuyucocha donde los estudiantes realizan actividades afines de campo abierto, con el propósito de monitorear los niveles de radiación UV presentes en la zona y a consecuencia de esto generar alertas en tiempo real que permitan a los estudiantes tomar acciones y concientizar a los mismos sobre los riesgos asociados.

Figura 10

Descripción general del sistema



El prototipo sobrevolará una determinada zona del Campus, el sistema constará de un sensor capaz de medir el nivel de radiación UV, este valor recibido se reflejará en una aplicación móvil y se actualizará en tiempo real. La APP móvil trabajará con Internet, lo que supone que no todos los estudiantes tendrán acceso a una red WiFi, sin embargo, podrán optar por acceder a la información de la aplicación mediante datos móviles.

4.1.4. Requerimientos

A través de la exhaustiva revisión realizada en la sección anterior, se recopilan los datos esenciales que permiten definir los requisitos operativos, de usuario, de sistema y de arquitectura. Estos requisitos son fundamentales para el proceso de desarrollo del sistema.

4.1.4.1. Determinación de los Stakeholders.

Para satisfacer las necesidades del sistema electrónico, resulta crucial llevar a cabo un análisis de requisitos que permita seleccionar de manera adecuada tanto el hardware como el software a emplear en este proyecto específico.

El análisis de requerimientos resulta fundamental antes de empezar con la construcción del sistema embebido, ya que refleja las necesidades de los Stakeholders o partes involucradas,

presentadas en la Tabla 3. Estas necesidades están estrechamente relacionadas con las posibles soluciones que se pueden implementar, facilitando así el logro de los objetivos establecidos. Al iniciar con la construcción del sistema electrónico, es esencial considerar detalladamente los requisitos asociados con hardware, software y arquitectura. }

Tabla 3

Definición de Stakeholders

Stakeholders	Rol
Meneses Pozo Edin Alberto	Desarrollador del proyecto
Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MSc.	Director del proyecto
Ing. Jaime Gustavo Alvarado Sánchez, MSc.	Asesor del proyecto
Estudiantes Granja Experimental Yuyucocha	Campus para implementar

Fuente: Elaborada por el autor

4.1.4.2. Nomenclatura de los requerimientos.

Se consideran los diversos requisitos y se definen abreviaturas que se presentan en la Tabla 4. Esto posibilita una gestión más eficiente de los datos vinculados al desarrollo del sistema y facilita su identificación en el resto del documento.

Tabla 4

Denominación de los requerimientos


Requerimiento	Abreviatura
Sistema	SISR
Stakeholders	STSR
Arquitectura	SASR

Fuente: Elaborada por el autor

4.1.4.3. Requisitos de Stakeholders.

Los requisitos provenientes de las partes interesadas contribuyen a la definición de un conjunto de condiciones esenciales para la construcción del sistema. Estos requisitos deben adaptarse a las necesidades tanto de las personas involucradas como del desarrollador. La Tabla 5 presenta los requisitos iniciales para el desarrollo del sistema, clasificados según sus prioridades.

Prioridad:

Prioridad Baja = 

Prioridad Media = 








Prioridad Alta = 

Tabla 5

Requerimientos - Stakeholders

Nomenclatura	Requerimiento	Prioridad		
		Baja	Media	Alta
STSR1	El microcontrolador que recolecta los datos requiere una conexión a una fuente de energía de al menos 3.7 voltios.			
STSR2	Se requiere una conexión a internet de forma continua durante el tiempo de ejecución.			
STSR3	Se precisa una aplicación para visualizar la información.			

STSR4	La alerta enviada a los usuarios debe tener valores precisos del nivel de radiación UV.	
STSR5	La información proporcionada a los usuarios debe ser en tiempo real.	
STSR6	La representación de datos para el usuario final debe ser clara y comprensible.	




Fuente: Elaborada por el autor



4.1.4.4. Requerimientos del Sistema

Los requisitos del sistema son aquellos en los que se definen los límites y las funciones que llevará a cabo el sistema. Todo esto se realiza basándose en la formulación del problema descrito anteriormente, estableciendo una relación estrecha con los usuarios. En la Tabla 6 se detallan las funciones fundamentales que poseerá el prototipo.

Tabla 6

Requerimientos del Sistema

Nomenclatura	Requerimiento	Prioridad		
		Baja	Media	Alta
SISR1	El sistema debe sobrevolar la zona de interés donde los usuarios realizan sus actividades.			
SISR2	El sensor debe estar ubicado donde se pueda tomar una lectura adecuada.			
SISR3	Los elementos que conforman el sistema deben ser removidos con facilidad.			

SISR4	El sistema debe monitorear constantemente los niveles de radiación UV.	
SISR5	El material que soporta al sistema no debe causar interferencias de señal.	

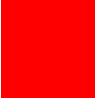






Fuente: Elaborada por el autor












4.1.4.5. Requerimientos de Arquitectura



En la Tabla 7 se detallan los requisitos de los elementos que integran el sistema, tanto a nivel de software como de hardware. La adecuada interpretación de estos requisitos facilita la selección precisa de los materiales necesarios.

Tabla 7

Requerimientos de Arquitectura

Nomen- clatura	Requerimiento	Prioridad		
		Baja	Media	Alta
SASR1	Se requiere un lenguaje de programación que sea compatible con la placa.			
SASR2	La placa del sistema debe contar con entradas y salidas análogo digitales disponibles para la conexión del sensor.			
SASR3	Se requiere una base de datos en la nube.			
SASR4	Los dispositivos de transmisión y recepción deben ser compatibles con la tecnología WiFi.			
SASR5	El sensor debe mostrar valores directos de radiación UV.			
SASR6	El sistema embebido debe ser compatible con el sensor.			
SASR7	La placa del sistema debe procesar los datos.			

SASR8	Usar lenguaje de programación de código abierto.		
SASR9	Visualización sencilla de los datos recopilados por el sensor.		
SASR10	El dron debe cubrir toda la zona de interés.		
SASR11	El dron debe elevar el sistema embebido.		
SASR12	La batería del dron debe ser capaz de soportar el periodo de monitoreo.		
SASR13	El dron debe estar equipado con un control que permita la visualización de su trayectoria.		
SASR14	El dron debe contar con la funcionalidad de ruta programables a través de waypoints.		
SASR15	La base de datos del sistema debe ser de acceso gratuito.		
SASR16	La BBDD debe cumplir con los requisitos de almacenamiento y rendimiento demandados por el sistema.		
SASR17	La base de datos debe ser compatible con software de desarrollo de aplicaciones móviles.		
SASR18	La BBDD debe manejar datos en tiempo real.		
SASR19	El software de desarrollo de aplicaciones debe tener compatibilidad con múltiples plataformas.		
SASR20	La interfaz gráfica del software utilizado para el desarrollo de la aplicación debe ser intuitiva.		
SASR21	El software de desarrollo de aplicaciones debe tener conexión con bases de datos en la nube.		

SASR22	El software utilizado para el desarrollo de aplicaciones debe ser compatible con lenguajes de programación versátiles y ampliamente utilizados.	
SASR23	El software de desarrollo de aplicaciones debería ser capaz de simular y gestionar datos ficticios o de prueba.	

Fuente: Elaborada por el autor

4.1.5. Recursos

En esta sección se detallan los componentes esenciales necesarios para el desarrollo del prototipo de monitoreo, considerando la evaluación previa realizada.

4.1.5.1. Recursos humanos

Los recursos humanos proporcionan información detallada sobre cada individuo involucrado en la ejecución del proyecto. Cada uno de estos participantes se especifica en la Tabla 8.

Tabla 8

Recursos humanos

Recursos Humanos	
Granja Experimental Yuyucocha	Estudiantes Involucrados
Tutor	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón MSc.
Desarrollador	Sr. Meneses Pozo Edin Alberto

Fuente: Elaborada por el autor

4.1.5.2. Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos desempeñarán un papel fundamental en el desarrollo del sistema. En este contexto, se emplearán herramientas como el software de Arduino IDE,

software de desarrollo de aplicaciones móviles, plataformas de bases de datos en la nube, entre otros, los cuales serán definidos posteriormente.

4.1.6. Elección de Hardware y Software

La elección del hardware y software para la implementación del prototipo de monitoreo se realiza en función de los requisitos establecidos por el desarrollador. Se efectúa una comparación entre diferentes opciones de hardware y software, y la decisión final se toma considerando aquellos que obtengan la mayor puntuación en la evaluación.

4.1.6.1. Elección de Hardware

La selección del hardware se lleva a cabo utilizando la información recopilada en la Tabla 7, la cual detalla los requisitos de arquitectura. En este contexto, se elige el microcontrolador, responsable de recibir y enviar los datos recopilados por el sensor, como se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9

Elección de Hardware – Microcontrolador

Hardware	Requerimientos					Puntuación
	SASR2	SASR4	SASR6	SASR7	SASR9	
Arduino	1	1	1	1	0	4
Raspberry Pi	1	1	0	0	1	3
ESP32	1	1	1	1	1	5
	1 satisface			0 no satisface		

Fuente: Elaborada por el autor

Se elige la placa ESP32 como la opción para el microcontrolador del sistema debido a que cumple con todos los requisitos mencionados en la Tabla 7. Posteriormente, se realiza la selección de uno de los microcontroladores ESP32 presentadas en la Tabla 10.

Tabla 10

Microcontroladores ESP32

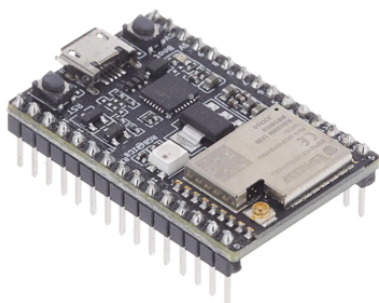
Características	ESP32-C3	ESP32-S3	ESP32-WROOM
Microcontrolador	RISC-V de 32 bits	RISC-V de 32 bits	Xtensa LX7 de 32 bits
Tensión de funcionamiento	3.3V/5V	3.3V	3.3V
Pines in/out digitales	16	34	36
Voltaje de entrada límite	5V	3.3V	3.3V
Pines de in/out analógicos	8/2	8/2	8/2
Wi-Fi 802.11	b/g/n	b/g/n	b/g/n
Bluetooth versión	BLE v5.0	BLE v5.0	BLE v4.2
Velocidad de reloj	Hasta 240 MHz	Hasta 160 MHz	Hasta 240 MHz
Precio aproximado	\$8	\$10	\$12
EEPROM	8 KB	8KB	32KB
Peso	4.8 g	6.5 g	7.2 g

Fuente: Elaborada por el autor

A través de la evaluación detallada presentada en la Tabla 10, se opta por el microcontrolador ESP32-C3, seleccionándolo por su capacidad de adaptarse a los requisitos específicos del proyecto y su versatilidad al conectarse con diversos módulos de comunicación.

Figura 11

Características principales ESP32-C3-DevkitC-02U



- Frecuencia de operación: 2.4 GHz
- Voltaje de alimentación operativo: 3.3 V y 5 V
- Protocolo admitido: 802.11 b/g/n
- Soporte de Bluetooth: BLE 5.0
- Soporte de Wi-Fi: Wi-Fi y Bluetooth LE integrados

En la siguiente etapa, se procede a la selección del sensor de radiación UV, como se detalla en la Tabla 11. Para esta elección, se lleva a cabo una comparación entre varios sensores disponibles en el mercado, cada uno distinguible por sus parámetros de funcionamiento únicos.

Tabla 11

Elección de sensor de radiación UV

Sensor	Voltaje de alimentación	Tipo de interfaz	Respuesta	Rango de intensidad UV	Precio
LTR390-UV (C)	3.3/5V	Digital (I2C)	Rápida	280 nm a 315 nm (UVB) 315 nm a 400 nm (UVA)	\$10 - \$15
ML8511	5V	Analógica	Buena	280 nm a 390 nm	\$7 - \$12
5Pcs-6002	3.3V / 5V	Analógica	Buena	280 nm a 390 nm	\$6 - \$8
GUVA-S12SD	5V	Analógica	Buena	240 nm a 370 nm	\$8 - \$12

Fuente: Elaborada por el autor

El sensor LTR390-UV fue seleccionado en base a los requisitos del sistema para la detección de niveles de radiación UV-B, debido a su rápida respuesta y su interfaz digital.

Además, se tomó en cuenta su peso, ya que, en el contexto del proyecto actual, este factor desempeña un papel crucial.

Figura 12

Características principales sensor ultravioleta digital LTR390-UV



- Interfaz: I2C
- Salida de valor: Directa a través del bus I2C
- ADC integrado: Sí
- Voltaje de operación: 3.3 V y 5 V
- Espectro de respuesta: 300-350 nm

Una vez determinado el sensor de radiación UV-B, se procede a seleccionar el dron, tal como muestra la Tabla 12, para ello se lleva a cabo una evaluación comparativa entre los diferentes drones disponibles en el mercado, los cuales se distinguen por sus características y funcionalidades.

Tabla 12

Elección del dron

Característica	DJI Mini 2	DJI Mavic 3	DJI Mini 4	Autel EVO	Skydio 2
			pro	II pro	
Distancia máx. de vuelo	10 km	20 km	16 km	12 km	3.2 km (con obstáculos)
Tiempo máx. de vuelo	31 minutos	46 minutos	34 minutos	30 minutos	23 minutos
Peso	249 g	895 g	249 g	595 g	735 g
Funcionalidad de waypoints	No	Si	Si	Si	No

Trayectoria	No	Si	Si	Si	No
en control					
Precio Aprox.	\$779	\$2485	\$1250	\$2100	\$1099

Fuente: Elaborada por el autor

En el proceso de selección del dron para el transporte del prototipo, es fundamental considerar los datos recopilados en la Tabla 7, la cual detalla los requerimientos de arquitectura del sistema. Estos criterios son esenciales para determinar cuál dron cumplirá de manera óptima con las especificaciones requeridas, tal como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Elección de Dron en base a Requerimientos de Arquitectura

Hardware	Requerimientos					Puntuación
	SASR10	SASR11	SASR12	SASR13	SASR14	
DJI Mini 2	1	0	0	1	0	2
DJI Mavic 3	1	1	1	1	1	5
DJI Mini 4 pro	1	1	1	1	1	5
AutelEVO II pro	1	1	0	1	1	4
Skydio 2	1	0	0	0	0	1
	1 satisface			0 no satisface		

Fuente: Elaborada por el autor

Tras realizar exhaustivas comparativas entre los drones presentados en las Tablas 12 y 13, se ha optado por seleccionar el dron DJI Mini 4 Pro. Este dron no solo cumple con todos los requisitos esenciales para el desarrollo del proyecto, sino que también destaca por ofrecer un precio accesible en comparación con otros modelos disponibles en el mercado.

Figura 13

Características principales dron DJI Mini 4 Pro



- Peso: < 249 g
- Sensor de Imagen: CMOS de 1/1.3 pulgadas
- Autonomía: 34 minutos (batería normal), 45 minutos (batería Plus)
- Transmisión de Video: Ocusync O4, hasta 20 km de distancia
- Resolución de Video: 4K/60 fps HDR

4.1.6.2. Elección de Software

La elección del software se realiza mediante el análisis de la información recopilada en la Tabla 7, donde se detallan los requisitos de arquitectura necesarios. En este contexto, se opta por la implementación de una base de datos en la nube, encargada de gestionar la recepción y envío de los datos recolectados por el sensor, tal como se describe en la Tabla 14.

Tabla 14

Elección de Base de Datos en la Nube

Software	Requerimientos					Puntuación
	SASR3	SASR15	SASR16	SASR17	SASR18	
Amazon Database Service	1	0	1	1	0	3
Microsoft Azure Database	1	0	1	1	0	3
Google Cloud SQL	1	0	1	1	0	3
Firestore Database	1	1	1	1	1	5
MongoDB Atlas	1	1	1	1	1	5
	1 satisfice		0 no satisfice			

Fuente: Elaborada por el autor

Tanto Firestore Database como MongoDB Atlas cumplen con los requisitos operacionales establecidos. Sin embargo, en este caso se opta por seleccionar Firestore Database

Database debido a su interfaz sencilla e intuitiva, así como a la amplia variedad de opciones que ofrece para trabajar con aplicaciones móviles.

Figura 14

Características principales Firebase Realtime Database



- Interfaz de datos: JSON
- Almacenamiento: En la nube
- Sincronización: En tiempo real
- Autenticación: Proporciona autenticación y reglas de seguridad configurables
- Estructura: Estructura de datos plana en un JSON, limita la complejidad de las consultas y estructuras de datos

Finalmente, se selecciona el software para el desarrollo de la aplicación móvil, basándose principalmente en el cumplimiento de los requisitos especificados en la Tabla 15.

Tabla 15

Elección de Software para desarrollo de aplicación móvil

Software	Requerimientos					Puntuación
	SASR19	SASR20	SASR21	SASR22	SASR23	
Xcode	1	1	0	1	1	4
Android Studio (Flutter)	1	1	1	1	1	5
Unity	0	1	1	1	1	4
Xamarin	1	0	1	1	1	4
	1 satisfice			0 no satisfice		

Fuente: Elaborada por el autor

Se opta por Android Studio con el uso del framework Flutter como el software designado para el desarrollo de la aplicación móvil del sistema. Esta elección se basa en su cumplimiento

integral de los requerimientos establecidos en la Tabla 15, además de su compatibilidad con Firebase Realtime, la base de datos en la nube seleccionada previamente.

Figura 15

Características principales Android Studio



- Interfaz de usuario integrada: Interfaz intuitiva y personalizable
- Soporte nativo para Flutter: Crear, compilar y ejecutar aplicaciones de Flutter
- Compilación y ejecución multiplataforma: Android - iOS
- Desarrollo de aplicaciones con Dart: Utiliza lenguaje de programación Dart
- Compatibilidad con Firebase Realtime Database: Si
- Integración con el SDK de Android: Herramientas y recursos necesarios para desarrollar aplicaciones móviles

4.2. Diseño del prototipo

Esta sección detalla el proceso completo de desarrollo del prototipo de monitoreo de radiación UV. Siguiendo los requerimientos previamente establecidos, se presenta una descripción organizada del funcionamiento, con el objetivo de garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados de manera efectiva.

4.2.1. Modelo de referencia IoT del prototipo de monitoreo de radiación UV

La Figura 16 ilustra el modelo de referencia IoT aplicado al Prototipo de Monitoreo de Radiación UV mediante la Programación de Rutas Automatizadas en un Dron. A continuación, se describe en detalle la estructura y el modo de operación de este modelo:

Capa de sensores: Esta capa se encuentra conformada por el sensor digital de radiación UV, encargado de medir los niveles de radiación UV-B presentes en la zona y la placa ESP32, que recibe los datos del sensor y los prepara para su transmisión.

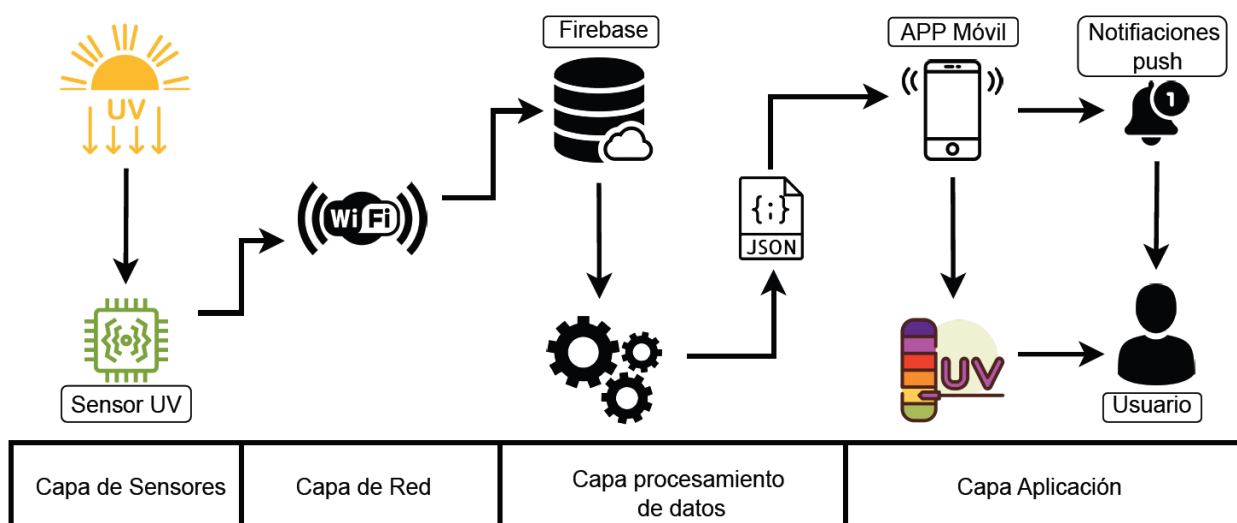
Capa de red: Esta capa se encarga de transmitir los datos desde la placa ESP32 a la base de datos en la nube, utilizando la tecnología WiFi.

Capa procesamiento de datos: En esta capa se localiza la base de datos en la nube Firebase, encargada de almacenar y procesar los datos en formato JSON tomados por el sensor de radiación UV, además es la responsable de enviar los datos hacia la aplicación móvil.

Capa aplicación: En esta capa se reciben los datos enviados por la base de datos en la nube, los cuales pueden ser visualizados por el usuario en la aplicación móvil y mediante notificaciones push en tiempo real.

Figura 16

Modelo de referencia IoT aplicado al Prototipo de Monitoreo de Radiación UV

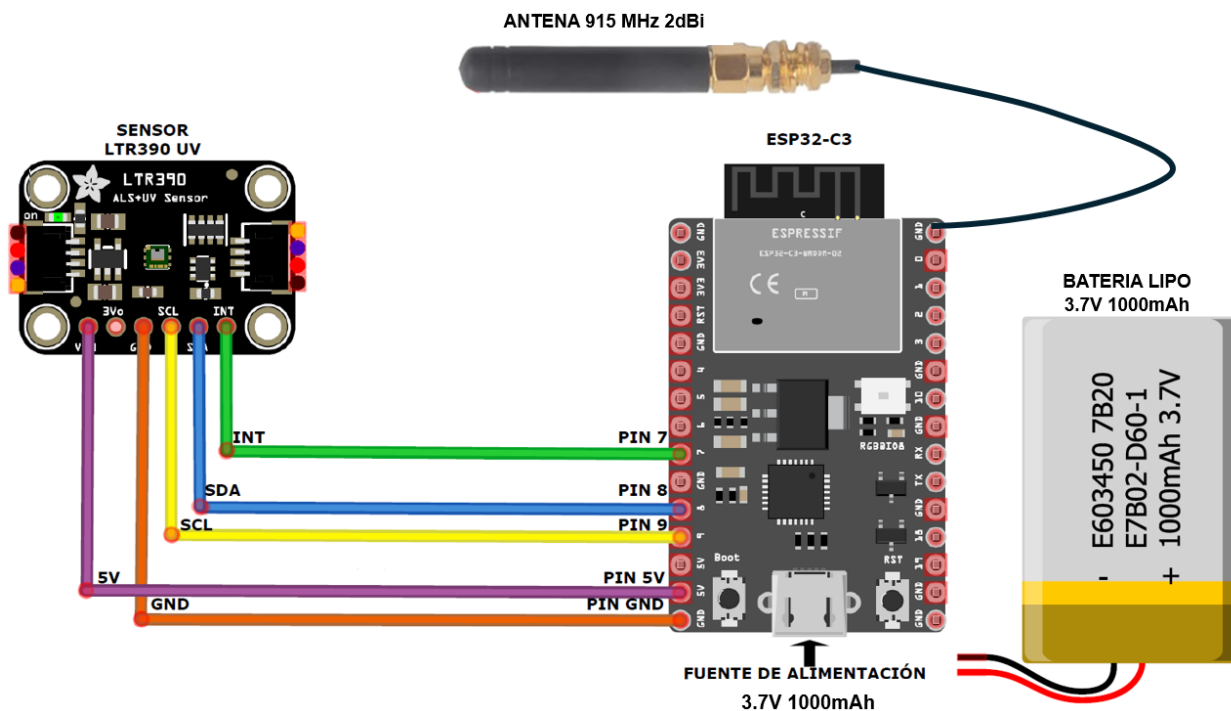


4.2.2. Nodo recolector

El nodo recolector consta de un módulo de sensor ultravioleta digital LTR390-UV, responsable de recopilar los datos sobre los niveles de radiación UV-B. Este módulo está conectado al microcontrolador ESP32-C3, encargado de interpretar y procesar los datos recopilados por el sensor, para luego enviarlos a una base de datos en la nube, en la Figura 17 se muestra el diagrama esquemático del nodo recolector.

Figura 17

Diagrama esquemático del Nodo Recolector



El sensor ultravioleta LTR390 es de tipo digital, lo que significa que emplea la comunicación I2C para transmitir datos. Esto implica que se conecta a través de los pines SDA y SCL del microcontrolador, que en este caso son los pines 8 y 9, respectivamente. El sensor es compatible tanto con tensiones de alimentación de 3.3V como de 5V, suministradas por el microcontrolador. Este último, a su vez, se conecta a una fuente de alimentación de 3.7V, cuya función se detallará más adelante.

4.2.2.1. Sistema de alimentación de energía

La alimentación juega un papel crucial en cualquier sistema electrónico. En este caso particular, el nodo recolector está instalado en un dron, lo que complica su conexión directa a una fuente de energía eléctrica. Por consiguiente, la alternativa más práctica es emplear una batería que satisfaga los requisitos de consumo del microcontrolador. Se considera que una

batería de polímero de litio (LiPo) es la mejor opción para alimentar al microcontrolador porque es ligera, tiene una alta densidad de energía y proporciona un voltaje estable. El ESP32-C3 puede ser alimentado por una batería LiPo de 3.7V o 5V. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la placa no tiene un circuito de carga de batería integrado, por lo que se necesita un cargador de batería LiPo separado para cargar la batería, en la Tabla 16 se proporciona una descripción detallada de los valores teóricos utilizados en el cálculo del consumo de energía del nodo.

Tabla 16

Consumo de energía de los dispositivos del nodo recolector

Componente	Consumo Típico	Consumo Máximo
ESP32-C3 (Modo Profundo)	10 mA	20 mA
ESP32-C3 (Wi-Fi Encendido)	50 mA	150 mA
Sensor LTR390-UV	0.3 mA	1 mA

Fuente: Elaborada por el autor

Considerando los datos operativos proporcionados en las hojas de especificaciones de cada componente del nodo recolector, se ha determinado que el consumo máximo se presenta cuando el ESP32-C3 tiene la función Wi-Fi activada. Dado que la placa empleará esta función durante el período de monitoreo, se estima que el consumo total de corriente del nodo recolector será de 151 mA.

El cálculo de la duración de la batería se basa en la relación entre la capacidad de la batería en mAh y el consumo total de corriente en mA. En este caso, la batería tiene una capacidad de 1000 mAh y el consumo total de corriente es de 151 mA. Por lo tanto, la duración teórica de la batería sería de aproximadamente 6.62 horas (6 horas y 37 minutos). Es importante tener en cuenta que la duración real puede variar debido a factores como cambios en el consumo

de corriente del ESP32 C3 durante su funcionamiento, la calidad de la batería y la temperatura de operación.

4.2.2.2. Programación de ESP32 para recepción de datos del Sensor UV

El microcontrolador ESP32-C3 administra tanto la recepción como el envío de los datos recopilados por el sensor UV-B. Equipado con funcionalidad Wi-Fi, la placa puede conectarse a una red inalámbrica cercana para acceder a Internet y enviar los datos a una base de datos en la nube específica. La programación de esta placa se realiza mediante el software Arduino IDE, utilizando código y bibliotecas específicas, en la Figura 18 se detallan las librerías necesarias para capturar los datos del sensor LTR390-UV.

Figura 18

Librerías para sensor LTR390

```
1  #include <Arduino.h>
2  #include "LTR390.h"
3
```

- **Librería Arduino:** Proporciona acceso a todas las funciones y variables necesarias para programar las placas Arduino. Entre sus principales características se incluyen la definición de tipos de datos básicos como int, float y char, así como funciones de entrada/salida para controlar pines digitales y analógicos.
- **Librería TLR390:** Necesaria para interactuar con el sensor de luz UV LTR390. Habilita funciones y definiciones específicas para el sensor, lo que permite realizar operaciones como la lectura de valores de radiación UV.

En la Figura 19, se muestran las líneas de código encargadas de activar e inicializar el sensor LTR390-UV para posteriormente iniciar con la toma de datos.

Figura 19

Parámetros para inicializar sensor LTR390-UV

```
70 // Inicialización del sensor UV
71 if (LTR390_Init() != 0)
72 {
73     Serial.print("Error al iniciar el sensor UV");
74     while (1);
75 }
```

En la línea 71, la función `LTR390_Init` proporcionada por la librería `LTR390.h` se encarga de inicializar y configurar el sensor UV para su correcto funcionamiento. Esta función devuelve un valor entero: si la inicialización es exitosa, devuelve 0; si hay algún error, devuelve un valor distinto de 0. Por lo tanto, la condición `if` verifica si el valor devuelto por `LTR390_Init` es diferente de 0. Si es así, significa que hubo un error durante la inicialización del sensor.

Si se cumple la condición del `if`, es decir, si hubo un error durante la inicialización, se ejecutará la línea 73 del código, que imprime el mensaje "Error al iniciar el sensor UV". Finalmente, se entra en un bucle infinito `while (1)`. Esto significa que, si hubo un error al inicializar el sensor UV, el programa se quedará atascado en este bucle sin poder continuar su ejecución normal.

En la Figura 20 se muestran las líneas de código responsables de tomar o leer el valor de radiación UV proporcionado por el sensor.

Figura 20

Parámetros para lectura de datos de sensor LTR390-UV

```
29 int valorUV;
82 // Lectura del valor UV
83 valorUV = LTR390_UVS();
84 Serial.print("Nivel de radiación UV = ");
85 Serial.println(valorUV);
86 delay(500);
```

En la línea 29 se declara la variable `valorUV` de tipo entero, destinada a almacenar el valor de radiación UV leído por el sensor. La función `LTR390_UVS`, definida en la línea 83, se encarga de extraer el valor de radiación UV del sensor LTR390 y lo devuelve como un entero. Las siguientes líneas imprimen el mensaje "Nivel de radiación UV " seguido del valor de radiación UV almacenado en la variable `valorUV`. Esto permite visualizar en el monitor serie el nivel de radiación UV detectado por el sensor.

4.2.2.3. Programación de ESP32 para conexión a red Wi-Fi Empresarial

Para que la ESP32 pueda transferir los datos recolectados por el sensor UV a la base de datos en la nube, es imperativo que disponga de una conexión a internet activa. Esto se logra mediante la activación de la función Wi-Fi de la placa, que le permite conectarse a una red Wi-Fi disponible. En este proyecto específico, se ha optado por utilizar la red "eduroam", ampliamente disponible en la mayoría de los campus de la Universidad Técnica del Norte. Esta elección elimina la necesidad de instalar o configurar una red inalámbrica adicional.

En la Figura 21 se presentan las bibliotecas necesarias y las definiciones de variables requeridas para establecer la conexión inalámbrica con la red "eduroam".

Figura 21

Librerías y variables para conexión Wi-Fi

```

6  #include <WiFi.h>
7
8  #define EAP_IDENTITY "eamenesesp@utn.edu.ec"
9  #define EAP_USERNAME "eamenesesp@utn.edu.ec"
10 #define EAP_PASSWORD "A[REDACTED]S-"
11 const char* ssid = "eduroam";
12 int counter = 0;

```

Librería WiFi: Proporciona las definiciones y funciones necesarias para trabajar con la conectividad Wi-Fi de la placa ESP32.

Las líneas 8,9 y 10 definen las credenciales necesarias para autenticarse en la red WiFi Eduroam. EAP_IDENTITY y EAP_USERNAME corresponden a la dirección de correo electrónico institucional del usuario, mientras que EAP_PASSWORD es la contraseña asociada a esa cuenta.

La línea 11 define el SSID de la red WiFi a la que se desea conectar. El SSID es el nombre único que identifica a la red inalámbrica.

La línea 12 declara una variable counter y la inicializa en 0. Esta variable se utiliza posteriormente para llevar la cuenta de los intentos de conexión a la red WiFi.

La Figura 22 muestra las líneas de código encargadas de inicializar la función Wi-Fi de la placa y asignar los parámetros de conexión correspondientes.

Figura 22

Inicialización y asignación de parámetros para conexión Wi-Fi

```
34 // Conexión a Wi-Fi
35 Serial.print("Conectando a la red: ");
36 Serial.println(ssid);
37 WiFi.disconnect(true);
38 WiFi.mode(WIFI_STA);
39
40 WiFi.begin(ssid, WPA2_AUTH_PEAP, EAP_IDENTITY, EAP_USERNAME, EAP_PASSWORD);
..
```

Las líneas 35 y 36 imprimen un mensaje indicando que se está intentando conectar a una red WiFi. Primero se imprime el texto "Conectando a la red: " y luego se imprime el valor del SSID definido anteriormente (en este caso, "eduroam").

La línea 37 desconecta el dispositivo de cualquier red WiFi a la que esté conectado previamente. El parámetro true indica que se debe desconectar de forma forzada.

La función `WiFi.mode` definida en la línea 38, establece el modo WiFi del dispositivo a modo estación (`WIFI_STA`). Esto significa que el dispositivo se comportará como un cliente dentro de la red WiFi.

La línea 40 inicia el proceso de conexión a la red WiFi Eduroam. Los parámetros utilizados son:

- `ssid`: el nombre de la red WiFi (Eduroam)
- `WPA2_AUTH_PEAP`: el método de autenticación utilizado (PEAP)
- `EAP_IDENTITY`: la identidad del usuario para la autenticación EAP
- `EAP_USERNAME`: el nombre de usuario para la autenticación EAP
- `EAP_PASSWORD`: la contraseña para la autenticación EAP

La Figura 23 detalla las líneas de código responsables de verificar que la conexión entre la placa ESP32 y la red Wi-Fi Eduroam se realice exitosamente.

Figura 23

Verificación de conexión a red WiFi Eduroam

```

42     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
43         delay(500);
44         Serial.print(".");
45         counter++;
46         if(counter>=60){
47             ESP.restart();
48         }
49     }
50     Serial.println("");
51     Serial.println("WiFi conectado");
52     Serial.println("Direccion IP: ");
53     Serial.println(WiFi.localIP());

```

La línea 42 define el inicio de un bucle `while`. El bucle se ejecutará repetidamente mientras la condición dentro de los paréntesis sea verdadera. En este caso, la condición establece

que el bucle se ejecutará mientras el estado de la conexión WiFi sea diferente de WL_CONNECTED, es decir, mientras el dispositivo no esté conectado a la red WiFi.

En la línea 43, se incorpora un retraso de 500 milisegundos (medio segundo) mediante la función delay, lo que permite al programa esperar antes de avanzar a la siguiente instrucción. Luego, en la línea 44, se imprime un punto para indicar el intento de establecer la conexión. Posteriormente, en la línea 45, se emplea la variable counter previamente definida, incrementándola en uno en cada iteración del bucle while.

Dentro del bucle while, se verifica si la variable counter es mayor o igual a 60 utilizando la instrucción if. Si se cumple esta condición, significa que han pasado aproximadamente 30 segundos (60 iteraciones de 500 milisegundos cada una) sin que se haya establecido la conexión WiFi.

En ese caso, se llama a la función ESP.restart, que reinicia el dispositivo ESP32. Esto se hace para intentar restablecer la conexión WiFi si ha habido un problema o si ha tardado demasiado tiempo en conectarse.

Después de que la placa se conecta exitosamente a la red WiFi, se ejecutan las líneas de código 51, 52 y 53 las cuales imprimen la dirección IP asignada al ESP32 en la red local haciendo uso de la función WiFi.localIP.

4.2.3. Base de datos en la nube

Es un servicio de almacenamiento y gestión de datos que se aloja en servidores remotos accesibles a través de Internet. En lugar de estar alojada en servidores locales o en las instalaciones del usuario, los datos se almacenan y se procesan en centros de datos administrados por un proveedor de servicios en la nube. Este enfoque ofrece varias ventajas, como la

escalabilidad, la flexibilidad, la alta disponibilidad, la seguridad mejorada y la reducción de costos de infraestructura y mantenimiento.

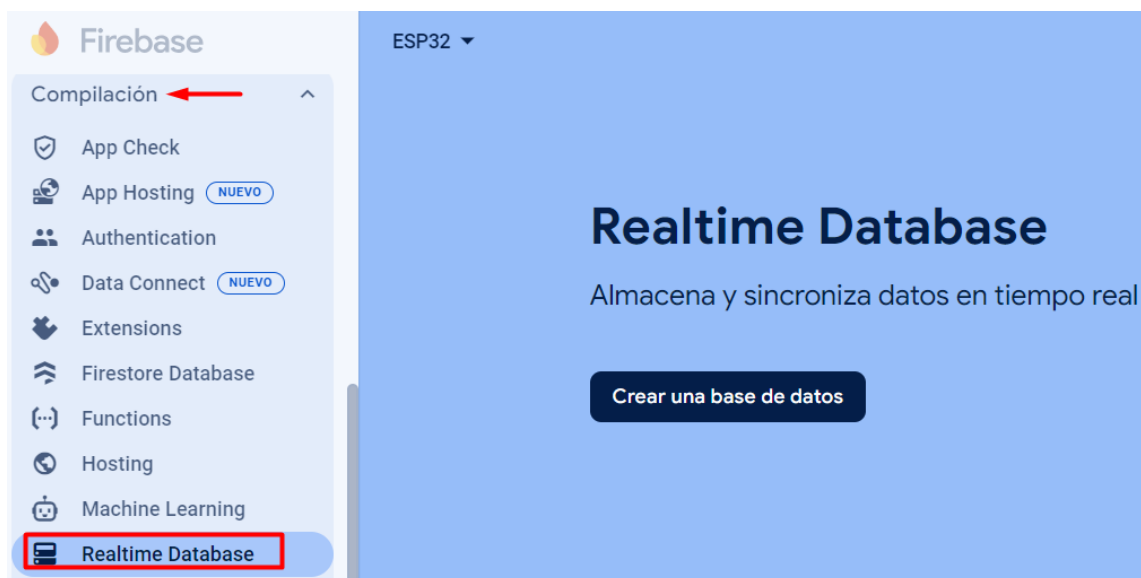
4.2.3.1. Firebase Realtime Database

Realtime Database es una base de datos NoSQL alojada en la nube, integrada en el conjunto de servicios de Firebase. Sus características clave incluyen el almacenamiento de datos en formato JSON, lo que permite una estructura de datos flexible y anidada.

La creación de la base de datos se realiza a través del sitio web oficial de Firebase, donde es necesario autenticarse con una cuenta de Google o Gmail. Una vez autenticado, se debe crear un nuevo proyecto para acceder a la consola principal de Firebase. Desde allí, se puede acceder a la función de Realtime Database, ubicada en la sección de compilación, tal como se ilustra en la Figura 24.

Figura 24

Creación de base de datos en Firebase



Tras crear la base de datos en la sección de Realtime Database, es necesario modificar el código predeterminado en el apartado de Reglas. Esto se hace con el objetivo de permitir una

correcta escritura y lectura de los datos que se vayan a enviar y recibir, tal como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Modificación de reglas para correcta escritura y lectura de datos



4.2.3.2. Programación de ESP32 para conexión con Firebase

El microcontrolador ESP32-C3 se encarga de procesar los datos recopilados por el sensor UV y de enviarlos a la base de datos en la nube. Para lograr esto, la placa utiliza bibliotecas específicas que definen los parámetros necesarios para la conexión con la base de datos, tal como se detalla en la Figura 26.

Figura 26

Parámetros para conexión a base de datos en la nube

```
5  #include <FirebaseESP32.h>
6
7  #define DATABASE_URL "https://esp32-bb92f-default-rtdb.firebaseio.com/"
8  #define DATABASE_SECRET "QnuWGWe99GdZtKPJyXW2sUYSBLC9VkJhgX8WxOfZ"
9
```

- Librería FirebaseESP32: Proporciona las funciones necesarias para interactuar con Firebase desde el microcontrolador ESP32-C3. Esta librería facilita la conexión y comunicación con la base de datos en tiempo real de Firebase.

La línea 7 del código define la URL de la base de datos en tiempo real de Firebase a la que se conectará la placa ESP32-C3. Esta URL específica apunta a la base de datos alojada en Firebase, la cual es generada automáticamente al crear la base de datos. La URL se puede encontrar en la pestaña de Datos dentro del apartado de Realtime Database, como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

URL de base de datos en tiempo real de Firebase



De la misma manera, la línea 8 del código define la clave secreta de la base de datos, que es una clave de autenticación necesaria para acceder y realizar operaciones en la base de datos de Firebase. Esta clave se utiliza para autenticar el dispositivo y garantizar la seguridad de las operaciones realizadas. La Figura 28 muestra en detalle la ubicación de la clave secreta dentro del apartado de configuración del proyecto.

Figura 28

Clave secreta de base de datos en tiempo real de Firebase



En la Figura 29 se detallan las líneas de código responsables de la inicialización de objetos Firebase.

Figura 29

Definición de objetos Firebase

```

21  FirebaseDatabase tesisuv;
22  FirebaseAuth auth;
23  FirebaseConfig config;

```

En la línea 21 del código, se define un objeto `FirebaseData` llamado `tesisuv`, el cual se utiliza para interactuar con la base de datos de Firebase. Este objeto permite realizar operaciones en tiempo real como leer, escribir y actualizar datos. La línea 22 crea un objeto `FirebaseAuth` denominado `auth`, que se emplea para gestionar la autenticación y autorización en Firebase, facilitando la autenticación del dispositivo y controlando el acceso a los datos. Por último, en la

línea 23, se establece un objeto `FirebaseConfig` llamado `config`, que se utiliza para configurar la conexión con Firebase. Este objeto incluye la URL de la base de datos y el secreto de autenticación, permitiendo establecer la configuración necesaria para una comunicación exitosa con la base de datos de Firebase. En la Figura 30 se muestran las líneas de código encargadas de iniciar la conexión con Firebase.

Figura 30

Inicio de conexión con la base de datos en la nube

```
55 | | config.database_url = DATABASE_URL;  
56 | | config.signer.tokens.legacy_token = DATABASE_SECRET;  
57 |  
58 | | tesisuv.setBSSLBufferSize(8192 /* Rx buffer size */, 8192 /* Tx buffer size */);  
59 |  
60 | | Firebase.begin(&config, &auth);
```

Las líneas 55 y 56 del código se encargan de configurar la URL de la base de datos de Firebase y asignar el token de autenticación necesario para el acceso a la base de datos, respectivamente. Posteriormente, en la línea 58 se establece el tamaño del búfer SSL utilizado para la comunicación segura con Firebase, configurando tanto el tamaño de recepción como de transmisión en 8192 bytes. Finalmente, la función `Firebase.begin` inicializa la conexión con Firebase utilizando la configuración y autenticación proporcionadas, permitiendo así la interacción de la placa con la base de datos en tiempo real. En la Figura 31 se muestra la línea de código que envía el valor del sensor UV hacia la base de datos en la nube.

Figura 31

Envío de datos del sensor UV hacia la base de datos en la nube

```
83 | | | Firebase.setInt(tesisuv, "/Sensores/Sensor_UV", valorUV);  
84 | | }
```

En la línea de código 83, se realiza la actualización del valor del sensor de radiación UV en la base de datos de Firebase. La función `setInt` de Firebase se utiliza para establecer un valor entero en una ubicación específica de la base de datos. En este caso, se está actualizando el valor del sensor de radiación UV, representado por la variable `valorUV`, en la ruta `/Sensores/Sensor_UV` dentro de la base de datos. Esto significa que el valor de radiación UV se almacenará y actualizará en tiempo real en la ubicación especificada en la base de datos de Firebase, lo que permite monitorear y registrar los datos del sensor de manera remota y en tiempo real.

Es crucial asegurar que la ubicación mencionada en las líneas de código coincida exactamente con la ubicación especificada en la base de datos en tiempo real de Firebase. Esto garantiza el envío y la recepción precisos de los datos, como se ilustra en la Figura 32.

Figura 32

Ubicación para recepción de datos en Firebase Realtime Database



4.2.4. Aplicación móvil

En esta sección se detalla el proceso de desarrollo de la aplicación móvil destinada a presentar información sobre los niveles de radiación UV al usuario final. Para la creación de esta

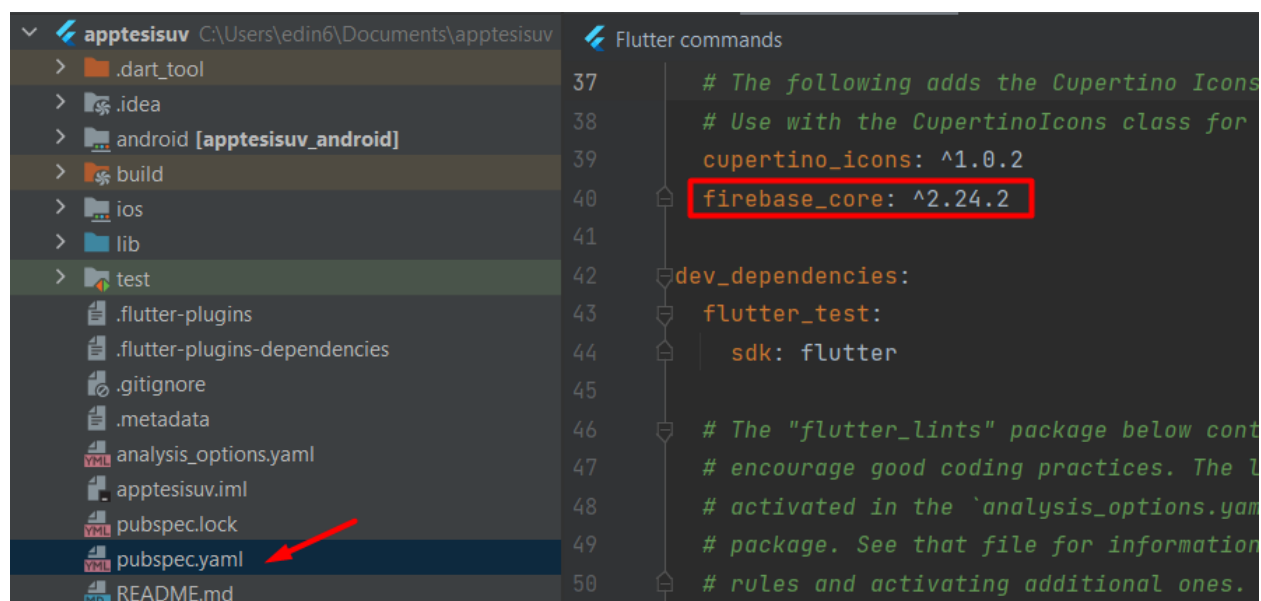
aplicación, se ha empleado Android Studio como entorno de desarrollo integrado (IDE) y el framework Flutter, con el objetivo de optimizar y simplificar el desarrollo de la app móvil.

4.2.4.1. Integración de Firebase con Flutter en Android Studio

Para que los valores de UV almacenados en la base de datos en tiempo real de Firebase se muestren en la aplicación móvil de forma simultánea, es esencial establecer una conexión entre Flutter y Firebase. Para ello, se debe instalar el complemento Firebase Core, que es el encargado de conectar la aplicación móvil con Firebase, como se ilustra en la Figura 33.

Figura 33

Instalación de Complemento Firebase Core

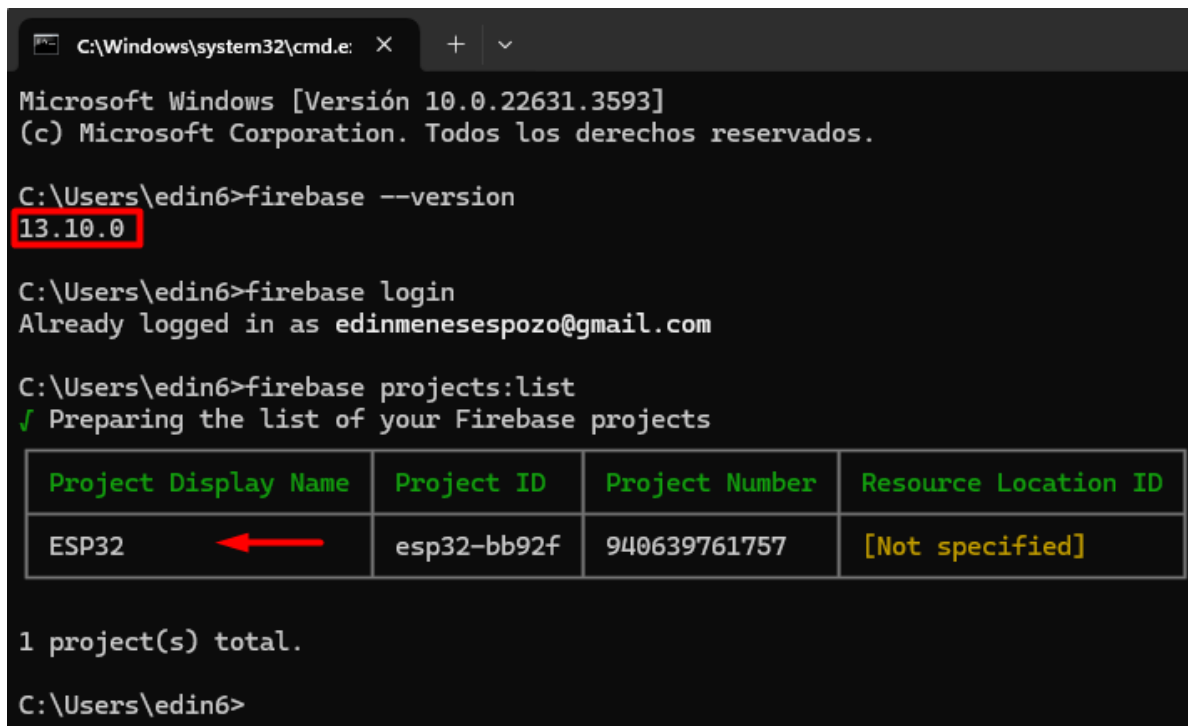


```
37 # The following adds the Cupertino Icons
38 # Use with the CupertinoIcons class for
39 cupertino_icons: ^1.0.2
40 firebase_core: ^2.24.2
41
42 dev_dependencies:
43   flutter_test:
44     sdk: flutter
45
46 # The "flutter_lints" package below cont
47 # encourage good coding practices. The l
48 # activated in the `analysis_options.yam
49 # package. See that file for informatio
50 # rules and activating additional ones.
```

Una de las herramientas principales es el CLI de FlutterFire, una utilidad de línea de comandos que facilita trabajar con los complementos de Firebase en aplicaciones Flutter. La instalación y configuración de esta herramienta están detalladas en la documentación oficial de Firebase. Para asegurarse de que el CLI está correctamente instalado, se puede verificar la versión instalada y la lista de proyectos creados, como se describe en la Figura 34.

Figura 34

Verificación de instalación de CLI de FlutterFire



```

C:\Windows\system32\cmd.e: X + v
Microsoft Windows [Versión 10.0.22631.3593]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\edin6>firebase --version
13.10.0

C:\Users\edin6>firebase login
Already logged in as edinmenesespozo@gmail.com

C:\Users\edin6>firebase projects:list
✓ Preparing the list of your Firebase projects

```

Project Display Name	Project ID	Project Number	Resource Location ID
ESP32	esp32-bb92f	940639761757	[Not specified]

```

1 project(s) total.

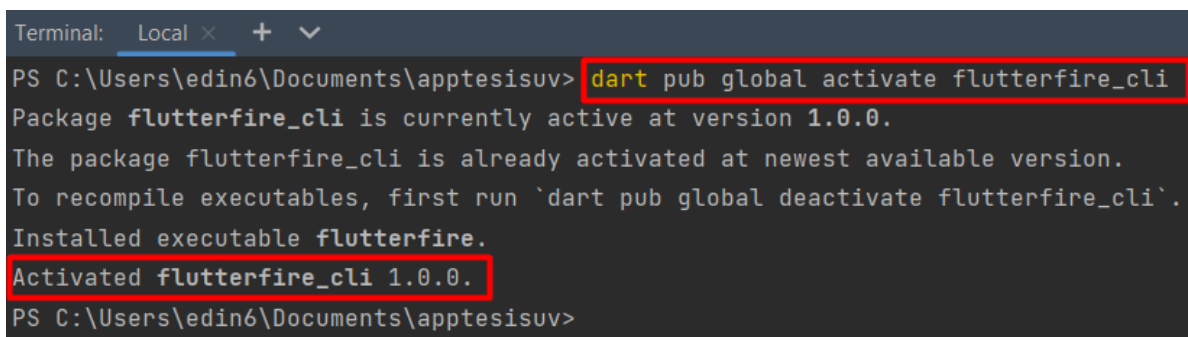
C:\Users\edin6>

```

Para usar el CLI de FlutterFire dentro del proyecto, es necesario activarlo. Esto se logra ejecutando el comando correspondiente directamente desde la terminal del proyecto, tal como se detalla en la Figura 35.

Figura 35

Activación de CLI de FlutterFire



```

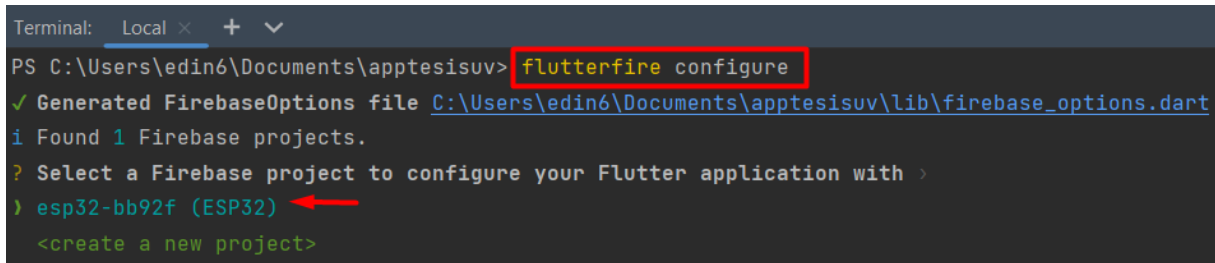
Terminal: Local X + v
PS C:\Users\edin6\Documents\apptesisuv> dart pub global activate flutterfire_cli
Package flutterfire_cli is currently active at version 1.0.0.
The package flutterfire_cli is already activated at newest available version.
To recompile executables, first run `dart pub global deactivate flutterfire_cli`.
Installed executable flutterfire.
Activated flutterfire_cli 1.0.0.
PS C:\Users\edin6\Documents\apptesisuv>

```

De la misma forma, es importante acceder a la configuración de FlutterFire para seleccionar el proyecto de Firebase con el que se desea establecer la conexión, tal como se indica en la Figura 36.

Figura 36

Configuración de FlutterFire

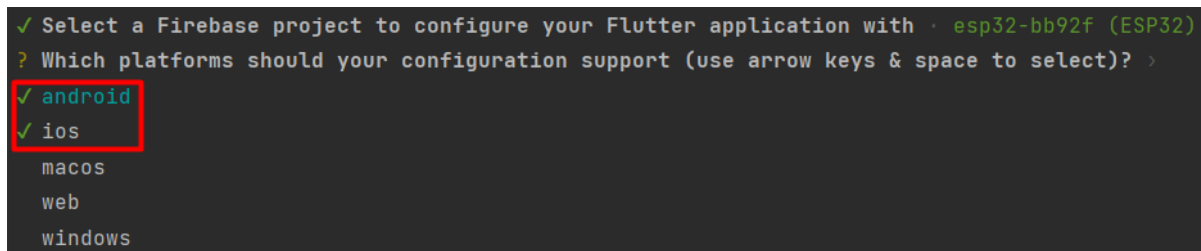


```
Terminal: Local x + v
PS C:\Users\edin6\Documents\apptesisuv> flutterfire configure
✓ Generated FirebaseOptions file C:\Users\edin6\Documents\apptesisuv\lib\firebase_options.dart
i Found 1 Firebase projects.
? Select a Firebase project to configure your Flutter application with >
) esp32-bb92f (ESP32) ←
<create a new project>
```

Dentro del proceso de configuración de FlutterFire, es crucial elegir el tipo de plataforma o sistema operativo con el que el proyecto será compatible. Este paso es fundamental para garantizar la integración adecuada, como se ilustra en la Figura 37.

Figura 37

Elección de plataformas compatibles



```
✓ Select a Firebase project to configure your Flutter application with · esp32-bb92f (ESP32)
? Which platforms should your configuration support (use arrow keys & space to select)? >
✓ android
✓ ios
macos
web
windows
```

Una vez completado el proceso de configuración de FlutterFire, la consola devolverá un mensaje confirmando que las plataformas antes seleccionadas se han registrado correctamente en Firebase. Además, se notificará que el archivo de configuración de Firebase para la aplicación ha sido generado satisfactoriamente, como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Registro de plataformas en Firebase

```

✓ Which platforms should your configuration support (use arrow keys & space to select)? · android, ios
i Firebase android app com.example.apptesisuv registered.
i Firebase ios app com.example.apptesisuv registered.

Firebase configuration file lib\firebase_options.dart generated successfully with the following Firebase apps:

Platform  Firebase App Id
android   1:940639761757:android:311bd071802bbc8ed724b4
ios       1:940639761757:ios:335320ee3605ccbcd724b4

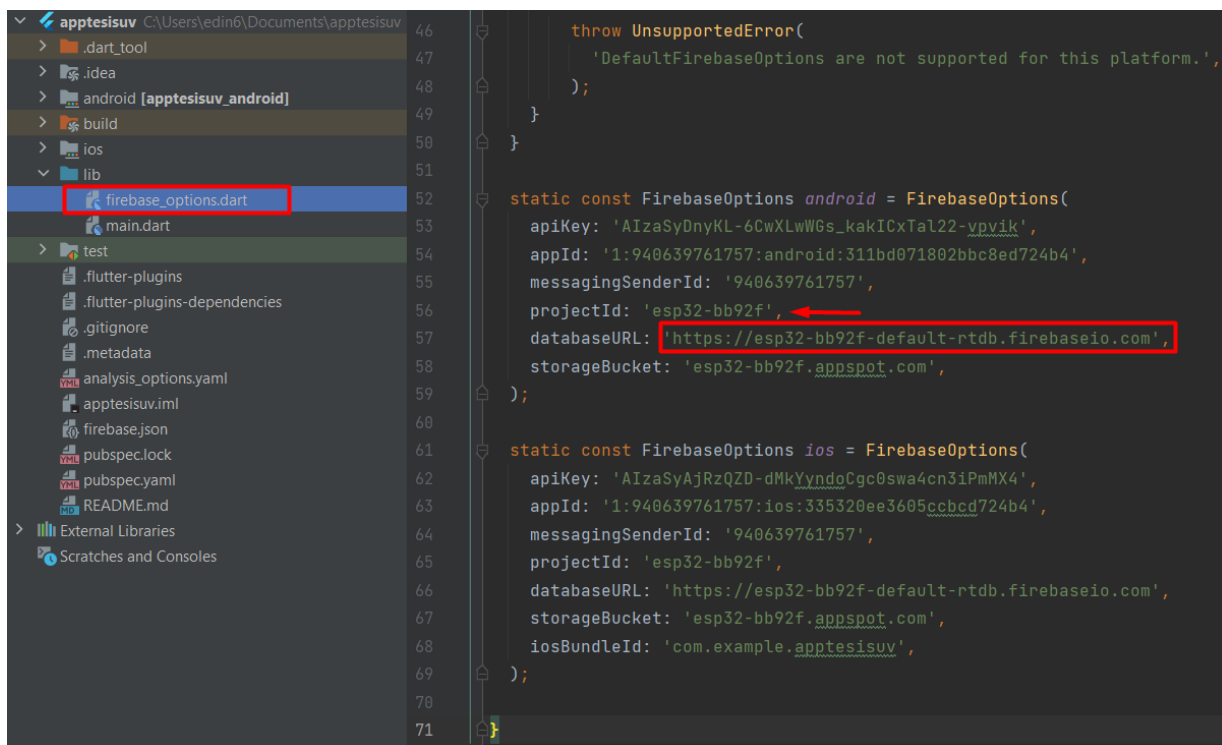
Learn more about using this file and next steps from the documentation:
> https://firebase.google.com/docs/flutter/setup
PS C:\Users\edin6\Documents\apptesisuv>

```

A partir de la configuración de FlutterFire, se genera un archivo .dart el cual contiene todos los parámetros y la información necesaria para establecer la conexión entre el proyecto de Flutter y Firebase, tal como se muestra en la Figura 39.

Figura 39

Archivo de configuración de Firebase



```

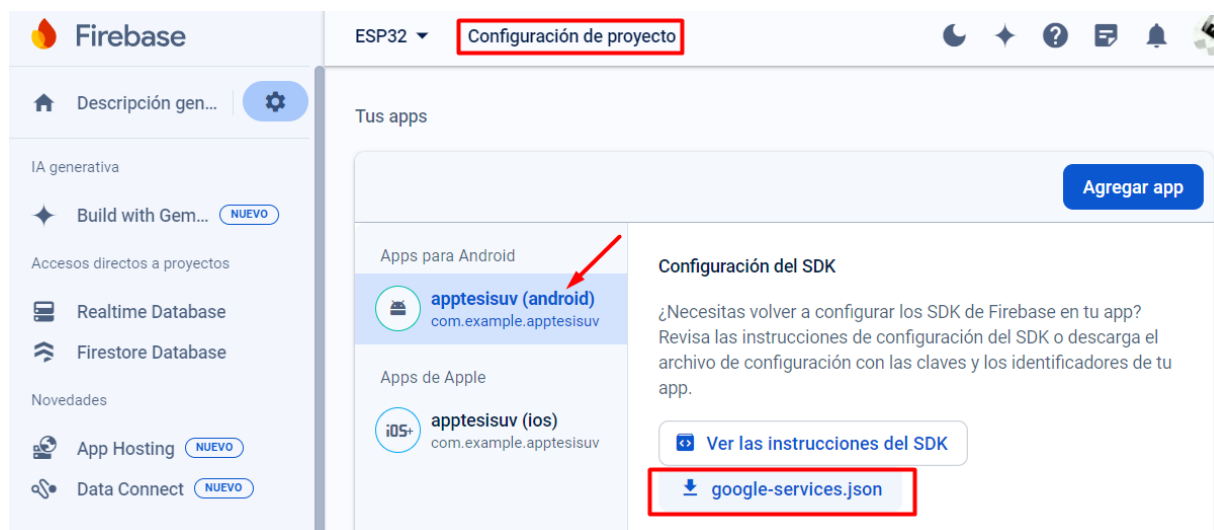
46
47
48
49
50
51
52 static const FirebaseOptions android = FirebaseOptions(
53     apiKey: 'AIzaSyDnyKL-6CwXLwWGs_kakICxTaL22-ypvik',
54     appId: '1:940639761757:android:311bd071802bbc8ed724b4',
55     messagingSenderId: '940639761757',
56     projectId: 'esp32-bb92f',
57     databaseURL: 'https://esp32-bb92f-default-rtdb.firebaseio.com',
58     storageBucket: 'esp32-bb92f.appspot.com',
59 );
60
61
62 static const FirebaseOptions ios = FirebaseOptions(
63     apiKey: 'AIzaSyAjRzQZD-dMkYyndoCgc0swa4cn3iPmMX4',
64     appId: '1:940639761757:ios:335320ee3605ccbcd724b4',
65     messagingSenderId: '940639761757',
66     projectId: 'esp32-bb92f',
67     databaseURL: 'https://esp32-bb92f-default-rtdb.firebaseio.com',
68     storageBucket: 'esp32-bb92f.appspot.com',
69     iosBundleId: 'com.example.apptesisuv',
70 );
71

```

Así mismo, es fundamental importar al proyecto el archivo .json de Google Services suministrado por Firebase. Este archivo contiene información vital para la comunicación de la aplicación móvil con Firebase, detallando aspectos clave del proyecto, la aplicación Android y los servicios disponibles en Firebase. En la Figura 40 se detalla la ubicación de dicho archivo.

Figura 40

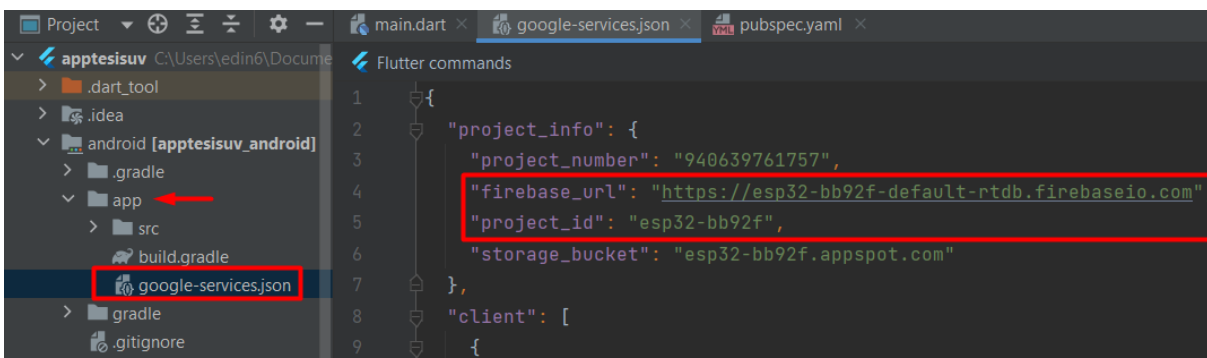
Ubicación de archivo Google Services



Para integrar correctamente el archivo .json proporcionado por Firebase en el proyecto de Flutter, es necesario importarlo en la carpeta 'app' que está ubicada dentro de la carpeta 'android'. Este procedimiento se describe detalladamente en la Figura 41.

Figura 41

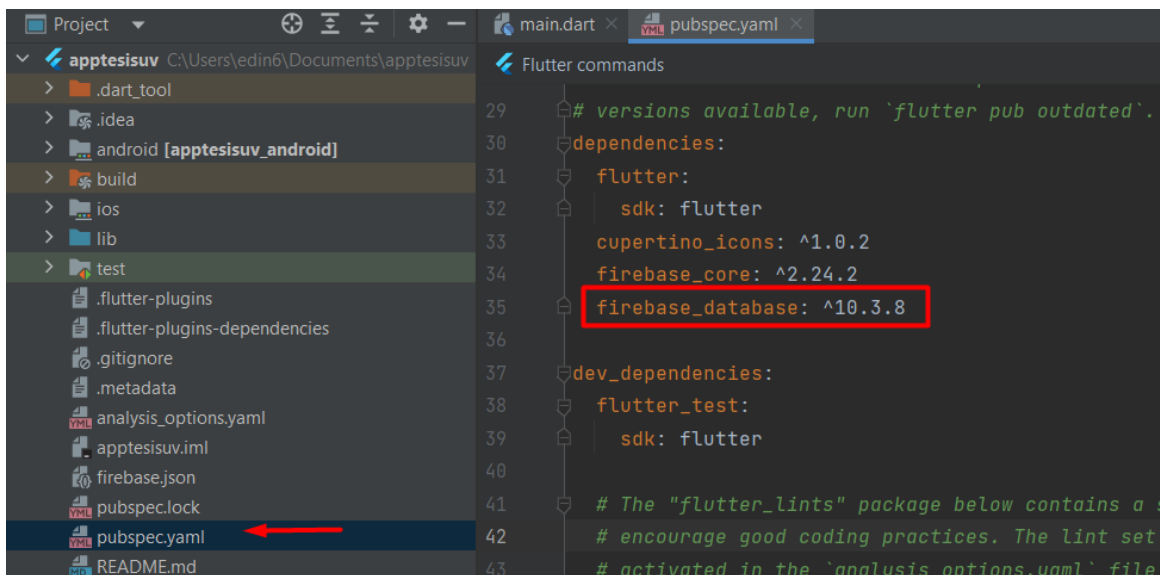
Importación de archivo Google Services



Para establecer una conexión en tiempo real con la base de datos, es esencial agregar las dependencias de Firebase necesarias, específicamente la correspondiente a Realtime Database, tal como se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Agregar dependencias de Realtime Database



The screenshot shows an IDE window with the project structure on the left and the pubspec.yaml file open in the main editor. A red arrow points to the pubspec.yaml file in the project tree. In the main editor, the line `firebase_database: ^10.3.8` is highlighted with a red box. The code in the editor is as follows:

```

29  # versions available, run `flutter pub outdated`.
30  dependencies:
31    flutter:
32      sdk: flutter
33    cupertino_icons: ^1.0.2
34    firebase_core: ^2.24.2
35    firebase_database: ^10.3.8
36
37  dev_dependencies:
38    flutter_test:
39      sdk: flutter
40
41  # The "flutter_lints" package below contains a
42  # encourage good coding practices. The lint set
43  # activated in the `analysis_options.yaml` file

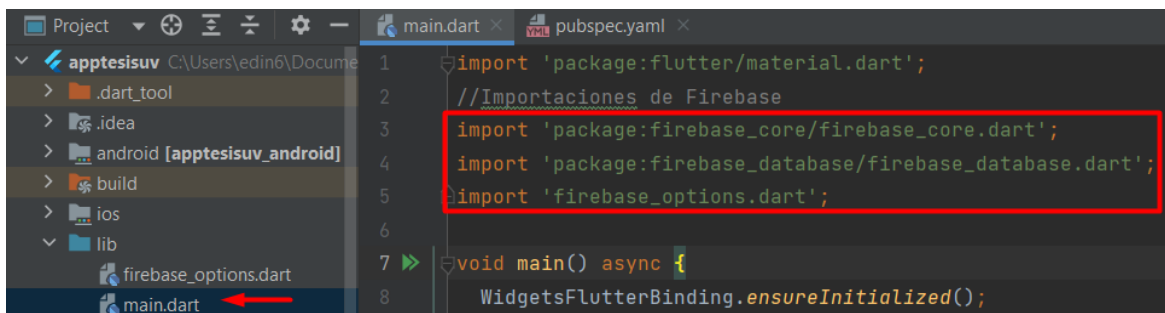
```

4.2.4.2. Inicialización de la base de datos de Firebase en Flutter

Para inicializar la base de datos y que esta procesa cambios en tiempo real es indispensable importar los paquetes necesarios de Firebase que proporcionan las funcionalidades de este, tal como se detalla en la Figura 43.

Figura 43

Importación de paquetes de Firebase



The screenshot shows an IDE window with the project structure on the left and the main.dart file open in the main editor. A red arrow points to the main.dart file in the project tree. In the main editor, the import statements for Firebase packages are highlighted with a red box. The code in the editor is as follows:

```

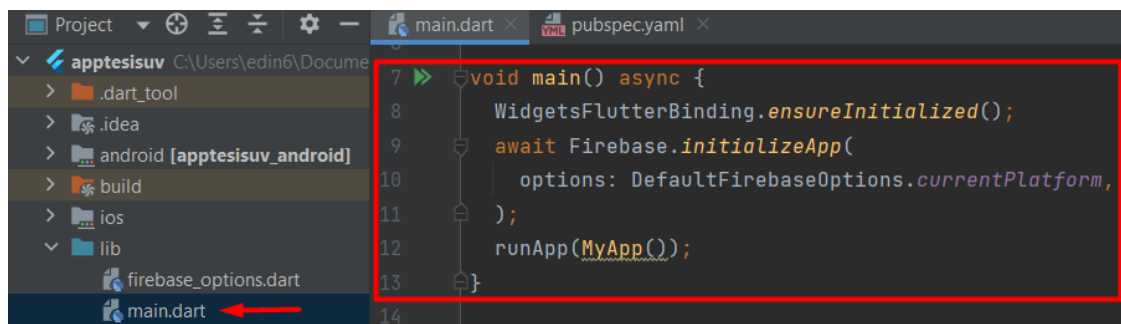
1  import 'package:flutter/material.dart';
2  //Importaciones de Firebase
3  import 'package:firebase_core/firebase_core.dart';
4  import 'package:firebase_database/firebase_database.dart';
5  import 'firebase_options.dart';
6
7  void main() async {
8    WidgetsFlutterBinding.ensureInitialized();

```

La Figura 44 muestra las líneas de código encargadas de garantizar que Firebase se inicialice correctamente en la aplicación móvil antes de iniciarla y mostrarla al usuario.

Figura 44

Inicialización de Firebase en Flutter



```

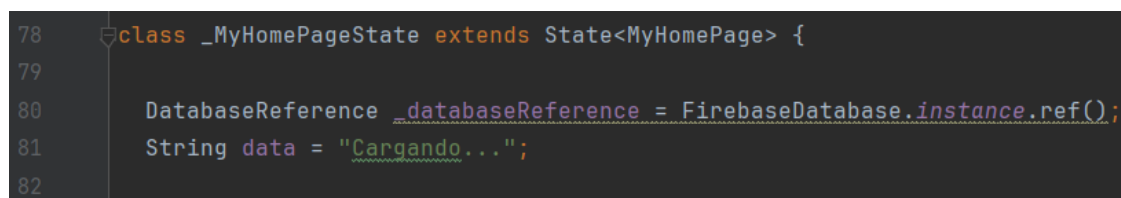
7 void main() async {
8   WidgetsFlutterBinding.ensureInitialized();
9   await Firebase.initializeApp(
10    options: DefaultFirebaseOptions.currentPlatform,
11  );
12  runApp(MyApp());
13 }

```

La línea 8 del código asegura que los widgets de Flutter estén inicializados antes de continuar con la ejecución de la aplicación. Luego, las líneas 9 y 10 se encargan de la inicialización de Firebase, asegurándose de que esté listo para su uso en la aplicación. Finalmente, la línea 12 del código inicia la aplicación móvil, permitiendo que el usuario interactúe con ella. Estas operaciones son fundamentales para integrar Firebase en la aplicación móvil y garantizar su funcionamiento adecuado. La Figura 45 detalla las líneas de código encargadas de crear una variable para almacenar los datos obtenidos desde Firebase.

Figura 45

Creación de variable para almacenar datos provenientes de Firebase



```

78 class _MyHomePageState extends State<MyHomePage> {
79
80   DatabaseReference _databaseReference = FirebaseDatabase.instance.ref();
81   String data = "Cargando...";
82

```

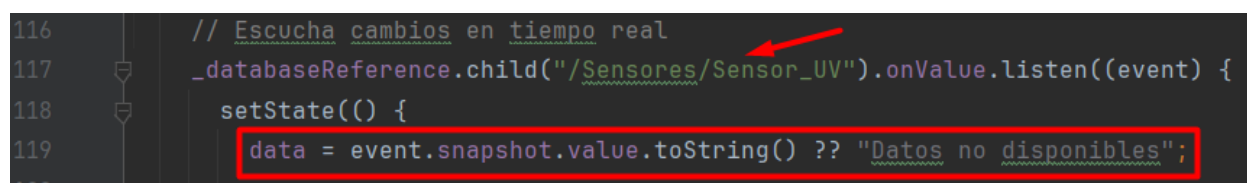
La línea 80 del código declara una variable que representa una referencia a la base de datos en Firebase. `FirebaseDatabase.instance` devuelve una instancia de la base de datos Firebase y la función `ref()` devuelve una referencia raíz a la base de datos. Esta referencia se usa para

acceder y manipular los datos almacenados en la base de datos Firebase en tiempo real. La línea 81 del código declara una variable 'data' de tipo String. Esta variable se utiliza para almacenar los datos obtenidos de la base de datos de Firebase. Inicialmente, se establece en "Cargando..." para indicar al usuario que los datos se están procesando o esperando respuesta de la base de datos. La Figura 46 muestra las líneas de código encargadas de actualizar en tiempo real los datos que se procesan en la base de datos de Firebase.

Figura 46

Actualización de datos en tiempo real

```
116 // Escucha cambios en tiempo real
117 _databaseReference.child("/Sensores/Sensor_UV").onValue.listen((event) {
118   setState(() {
119     data = event.snapshot.value.toString() ?? "Datos no disponibles";
120   });
121 });
```



La línea 117 del código establece un listener en tiempo real para el nodo "/Sensores/Sensor_UV" de la base de datos de Firebase. Cada vez que cambia el valor en este nodo, se activa un evento onValue que llama a una función de callback. Dentro de esta función, setState se utiliza para actualizar la variable 'data' con el nuevo valor del sensor, convertido a una cadena de texto mediante la función value.toString. Esta actualización provoca una reconstrucción del widget MyHomePage, asegurando que la interfaz de usuario refleje el valor más reciente del sensor UV.

4.2.4.3. Notificaciones Push

La aplicación se encuentra sincronizada en tiempo real con la base de datos en la nube. Esto significa que cualquier dato que se ingrese o modifique en la base de datos se verá reflejado instantáneamente en la interfaz de la aplicación. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los estudiantes, al encontrarse realizando actividades al aire libre, no revisarán la aplicación constantemente. Por lo tanto, es necesario implementar notificaciones push que envíen alertas o

avisos en momentos específicos. Esto permitirá que los estudiantes estén informados y pendientes de la aplicación, incluso cuando no la estén utilizando directamente. Para incorporar notificaciones push en la aplicación de Flutter, es necesario importar los paquetes y librerías requeridos, tal como se detalla en la Figura 47.

Figura 47

Paquetes necesarios para notificaciones push

```
6 //Importaciones para notificaciones locales
7 import 'package:firebase_messaging/firebase_messaging.dart';
8 import 'package:flutter_local_notifications/flutter_local_notifications.dart';
9
10 final FlutterLocalNotificationsPlugin flutterLocalNotificationsPlugin =
11 FlutterLocalNotificationsPlugin();
```

En las líneas de código 7 y 8 se importan las bibliotecas necesarias para manejar notificaciones en la aplicación de Flutter, posteriormente, en las líneas 10 y 11 se crea una instancia de la clase `FlutterLocalNotificationsPlugin`. Esta instancia se utilizará para interactuar con la funcionalidad de notificaciones push locales en la aplicación de Flutter. Es importante destacar que, antes de importar los paquetes indicados en la Figura 42, es necesario agregar las dependencias correspondientes. La Figura 48 detalla las líneas de código empleadas para solicitar al usuario permisos de activación de notificaciones.

Figura 48

Solicitar permisos para activar notificaciones

```
19 FirebaseMessaging messaging = FirebaseMessaging.instance;
20 // Solicitar permisos para activar notificaciones push
21 NotificationSettings settings = await messaging.requestPermission(
22   alert: true,
23   badge: true,
24   sound: true,
25 );
```


En la línea 19 del código, se crea una instancia de `FirebaseMessaging` para gestionar la aprobación o denegación de las notificaciones push. Luego, la línea 21 solicita autorización al usuario para recibir notificaciones. Los parámetros `alert`, `badge` y `sound` solicitan permisos para mostrar banners de notificación, actualizar el icono de la aplicación y reproducir sonidos cuando llegue una notificación, respectivamente. Para enviar una notificación push local, se debe definir una función llamada `sendLocalNotification`, tal como se muestra en la Figura 49.

Figura 49

Definición del contenido de la notificación push

```

78 void sendLocalNotification() async {
79   const androidDetails = AndroidNotificationDetails(
80     '1',
81     'Notificaciones Push Sensor UV',
82     channelDescription: 'Envío de notificaciones push de sensor UV',
83     importance: Importance.high,
84     priority: Priority.high,
85     showWhen: true,
86   );
87   const platformDetails = NotificationDetails(android: androidDetails);
88   await flutterLocalNotificationsPlugin.show(
89     0, // ID de la notificación ←
90     'Monitoreo de Radiación UV', // Título de la notificación ←
91     '¡ALERTA! ¡Se ha detectado un nivel de radiación UV de $data en tu zona! '
92     'Toca para visualizar las recomendaciones', // Cuerpo de la notificación
93     platformDetails,
94     payload: 'item x',

```

En la línea 79, se define una clase la cual determina los detalles específicos de la notificación para la plataforma Android. Dentro de la clase se especifica el ID de la notificación, su nombre, descripción del canal, importancia, prioridad y si se debe mostrar la marca de tiempo de la notificación (`showWhen`). La línea 87 crea un objeto `NotificationDetails` que contiene los detalles de la notificación para todas las plataformas soportadas. En este caso, solo se especifican los detalles para la plataforma Android. Finalmente, la línea 88 utiliza el método `show` para mostrar la notificación en el dispositivo, en dicho método se especifica el ID de la notificación,

el título de la notificación, el cuerpo de la notificación que incluye el valor de data, que es la variable que contiene el nivel de radiación UV detectado, los detalles de la plataforma y un payload opcional que puede ser utilizado para enviar información adicional con la notificación.

Las notificaciones push están configuradas para mostrarse en situaciones específicas, como se ilustra en la Figura 50.

Figura 50

Condición para mostrar notificación push local

```
72      if ((double.tryParse(data) ?? 0) > 5) {  
73          sendLocalNotification();  
74      }
```

En la línea 72 de código se verifica si el nivel de radiación UV (data), convertido a un número de tipo double, es mayor que 5. Si es así, en la línea 73 se llama a la función `sendLocalNotification` para enviar una notificación local alertando al estudiante sobre el alto nivel de radiación UV. Es importante tener en cuenta que, de manera predeterminada, al hacer clic o tocar la notificación push emergente, la aplicación se abrirá y mostrará su página de inicio.

4.2.5. Programación de waypoints o puntos de ruta en dron

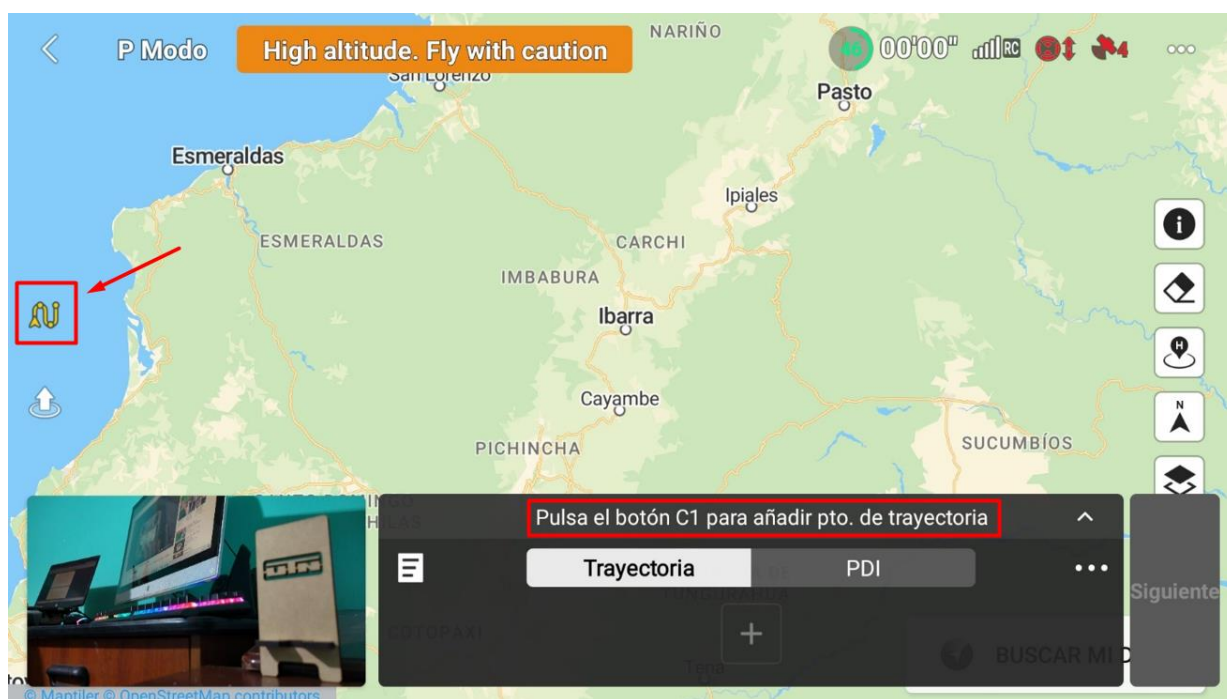
La programación de waypoints es una función que permite al usuario programar un itinerario de vuelo predefinido para que el dron lo realice automáticamente. Los waypoints son puntos específicos en un mapa que se establecen utilizando coordenadas GPS y otros parámetros adicionales como velocidad, tiempo de espera y orientación de la cámara. Una vez configurados, el dron vuela automáticamente entre estos puntos, permitiendo crear rutas de vuelo repetibles y precisas. Mediante la programación de waypoints, se busca establecer rutas que cubran el área donde los estudiantes realizan actividades de campo abierto en la Granja Experimental Yuyucocha. En conjunto con el sistema embebido, permitirá que el dron sobrevuele de manera

autónoma la zona de interés, recolectando datos de los niveles de radiación UV y enviando alertas en tiempo real a los estudiantes para que puedan estar informados y tomar las debidas precauciones.

En los drones DJI, específicamente en el modelo Mini 4 Pro, las rutas se programan desde la interfaz del control, accediendo a la opción de waypoints que se encuentra en la parte lateral izquierda, tal como se detalla en la Figura 51.

Figura 51

Programación de waypoints DJI Mini 4 Pro



Los puntos de trayectoria o waypoints, estarán programados sobre la ubicación del Campus Granja Experimental Yuyucocha. Por lo tanto, es necesario navegar y localizar esta ubicación en el mapa para establecer los puntos con precisión. Una de las ventajas de los drones DJI es que su aplicación permite cambiar el tipo de mapa de estándar a satelital, lo que facilita la búsqueda de la ubicación para proceder a establecer los puntos de trayectoria, como se muestra en la Figura 52.

Figura 52

Programación de puntos de trayectoria DJI Mini 4 Pro



Para programar una ruta automatizada, es necesario establecer al menos dos puntos: uno definido como punto de partida y otro como punto de llegada. A medida que se van agregando puntos en el mapa, la aplicación muestra información relevante, como la distancia entre puntos, la altitud, el tiempo de duración de la trayectoria y la distancia total en metros.

Cada punto de la trayectoria puede configurarse para que el dron realice acciones específicas en ese punto. Entre las principales acciones se encuentran tomar una foto, iniciar una grabación, ajustar la altitud, establecer la velocidad y definir un tiempo para que el dron permanezca estacionario en un punto determinado.

En este caso, los únicos parámetros que se van a configurar en cada punto son el tiempo que el dron permanecerá estacionario y la altitud, tal como se muestra en la Figura 53.

Figura 53

Configuración de parámetros en punto de trayectoria



Para definir el parámetro de altitud, es importante considerar que, al tratarse de una zona de campo abierto, es muy probable que haya presencia de obstáculos como árboles o vegetación alta que afecten la ruta programada. Por tanto, es crucial realizar un análisis de la ruta para determinar si en algún punto se necesitará establecer una altitud mayor.

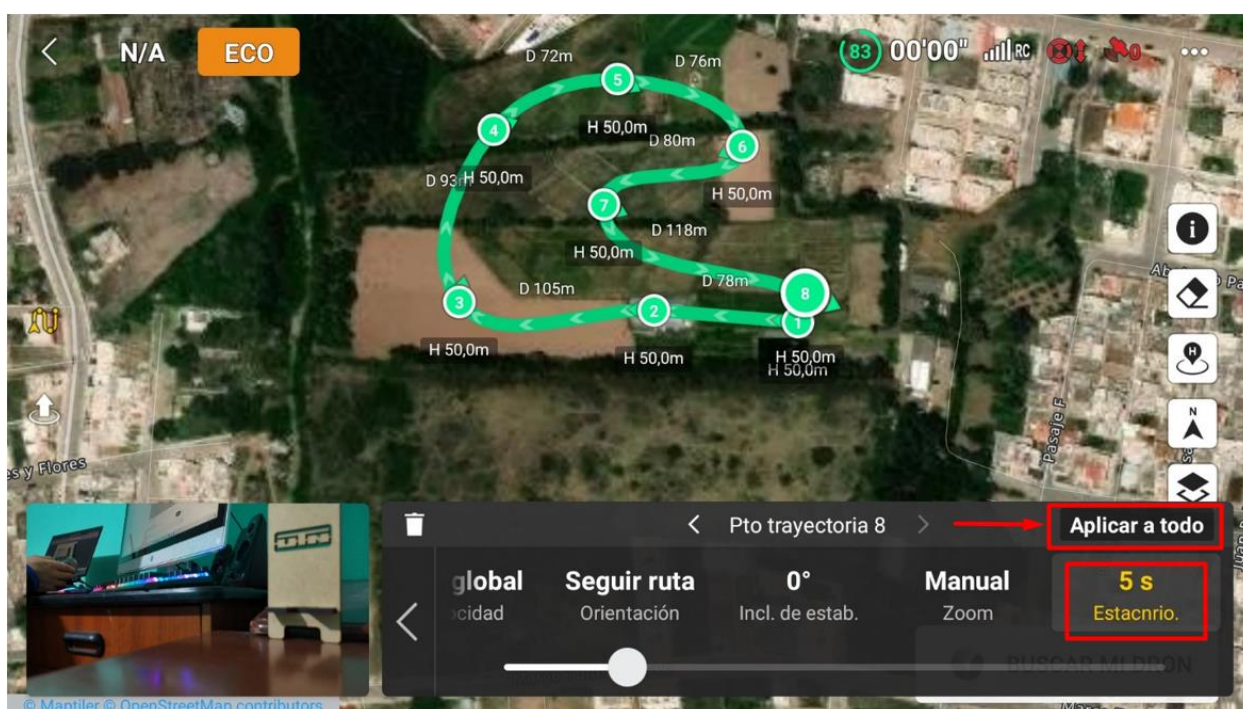
Independientemente de si el dron tiene activada la opción de esquivar o frenar ante la presencia de obstáculos, cuando se programa una ruta automatizada, el dron, al encontrarse frente a un obstáculo, frenará automáticamente y cancelará la ruta programada para evitar colisiones y daños al hardware.

El parámetro que establece el tiempo que el dron permanecerá estacionario en un punto se configura con el propósito de mejorar la precisión en la recolección de datos del sensor UV. Factores como el viento y la velocidad pueden incidir en la exactitud del sensor.

Es crucial definir un tiempo para que el dron permanezca estacionario en cada punto de la trayectoria, permitiendo así que el sensor recopile datos precisos en cada ubicación. La aplicación de DJI facilita esta configuración al permitir establecer el mismo parámetro para todos los puntos de la trayectoria, evitando así la necesidad de ajustarlo punto por punto, como se muestra en la Figura 54.

Figura 54

Parámetro de tiempo estacionario en puntos de trayectoria



Una vez que se han establecido todos los puntos de trayectoria requeridos para abarcar la zona de interés y se han configurado los parámetros necesarios para cada punto, la aplicación proporcionará información general, como la duración y la distancia totales que recorrerá la ruta. Antes de iniciar la ruta programada, la aplicación solicitará una verificación de la configuración de vuelo de la trayectoria para corregir cualquier parámetro si fuera necesario, como se muestra en la Figura 55.

Figura 55

Comprobación de configuración de vuelo

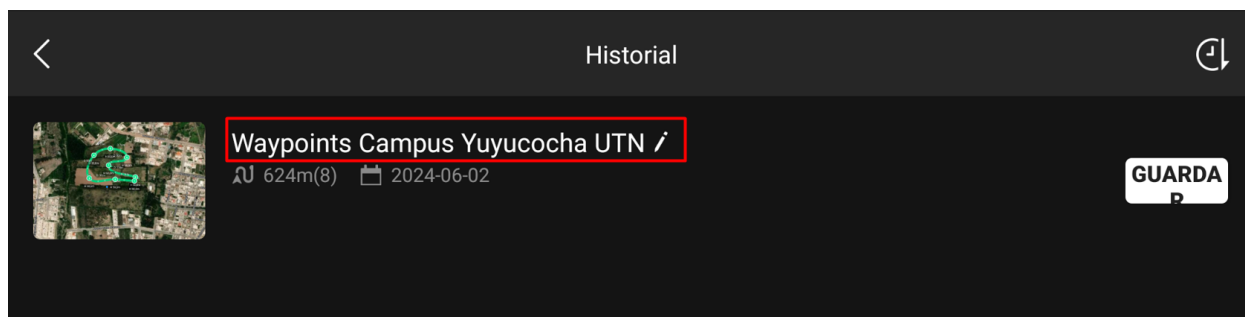


Independientemente de su ubicación inicial, al comenzar la ruta programada, el dron se posicionará automáticamente en el punto de partida establecido, tanto en términos de ubicación como de altitud, para iniciar la ruta. En particular, el dron DJI Mini 4 Pro utiliza sistemas de posicionamiento global como GPS, Galileo y BeiDou para garantizar una localización precisa. La integración de estos tres sistemas mejora significativamente la precisión y fiabilidad del posicionamiento del dron.

La aplicación de DJI permite guardar los puntos de trayectoria o waypoints programados para poder repetir exactamente la misma ruta en el mismo lugar. Esto constituye una ventaja, ya que el prototipo necesitará realizar múltiples períodos de monitoreo en la misma zona. En la Figura 56 se ilustra cómo se guarda un waypoint.

Figura 56

Guardar ruta programada o waypoints



4.3. Pruebas preliminares de integración del prototipo

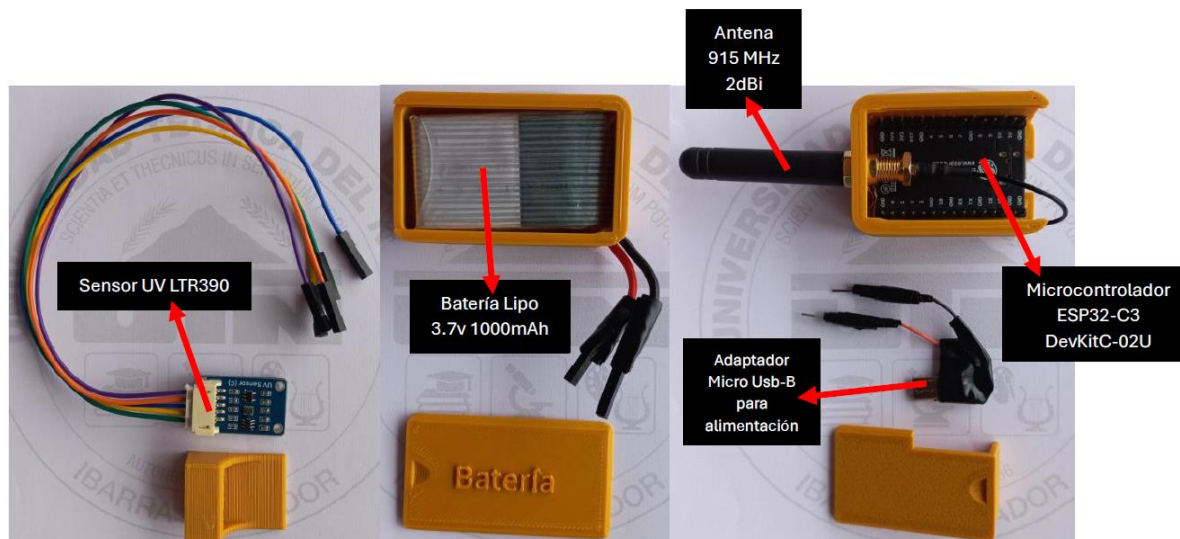
Las pruebas preliminares se llevan a cabo con el objetivo de verificar el funcionamiento del prototipo antes de implementarlo en el área de interés. Estas pruebas se realizan en un ambiente controlado, lo que permite analizar cada fase del sistema, desde la toma de datos hasta su visualización en la aplicación.

4.3.1. Integración de componentes

Para la integración de los componentes del prototipo, es necesario acoplarlos de la manera más compacta posible, reduciendo espacio y, por ende, peso, ya que el sistema embebido debe ser montado sobre el dron, el cual debe ser capaz de levantarlo.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, una de las opciones más viables es realizar moldes o impresiones que se ajusten al tamaño de los componentes. El material utilizado para estas impresiones es plástico, debido a su ligereza y resistencia, considerando que el sistema embebido funcionará al aire libre.

La Figura 57 detalla los componentes del sistema embebido acoplados en sus correspondientes moldes o impresiones.

Figura 57*Componentes del sistema embebido*

De igual manera, es importante considerar que la batería del sistema embebido necesita ser recargada periódicamente, dependiendo del uso. Por lo tanto, se añade un adaptador micro USB-B que permite desconectar la batería del sistema para recargarla. Posteriormente, se realiza el acople de los componentes del sistema embebido, tal como se muestra en la Figura 58.

Figura 58*Acople de elementos del sistema embebido*

Así mismo, en la Figura 59 se muestran las vistas frontal y posterior de los elementos acoplados del sistema embebido.

Figura 59

Vista frontal y posterior de sistema embebido



Una vez acoplados los elementos, se procede a enlazar el sistema embebido con el dron haciendo uso de la cinta de velcro, tal como se muestra en la Figura 60.

Figura 60

Acoplamiento de sistema embebido con dron



La cinta de velcro es un sistema de cierre compuesto por dos cintas que se adhieren entre sí al presionarlas, pero que se pueden separar fácilmente. Esto permite enlazar y separar el

sistema embebido del dron de manera sencilla, facilitando el transporte de ambos. Es importante colocar la cinta de manera que no interfiera con las hélices ni con los sensores del dron para evitar complicaciones en el vuelo, tal como se muestra en la Figura 61.

Figura 61

Vistas laterales del sistema embebido acoplado al dron



Las rutas automatizadas se programan directamente desde el control del dron. Sin embargo, es necesario encender el dron para que se sincronice con el control y se pueda acceder a la opción de waypoints, tal como se indica en la Figura 62.

Figura 62

Programación de waypoints desde control del dron



El DJI Mini 4 Pro utiliza la tecnología de comunicación inalámbrica OcuSync 4 de DJI. Esta tecnología permite la transmisión de video y control a distancias mayores, llegando hasta aproximadamente 20 kilómetros en condiciones óptimas.

El control utiliza específicamente las bandas de frecuencia de 2.4, 5.8 y 5.1 GHz para comunicarse con el dron. Es importante tener en cuenta que el dron seguirá la ruta automatizada incluso si no está conectado a internet.

Sin embargo, resulta fundamental que el microcontrolador mantenga una conexión activa durante esta ruta para poder enviar los datos a la base de datos en la nube.

Por lo tanto, será necesario llevar a cabo pruebas que permitan determinar el alcance de conectividad del microcontrolador respecto al punto de acceso inalámbrico, no obstante, en esta sección se llevarán a cabo pruebas iniciales del sistema, por lo que no será necesario ejecutar la ruta de vuelo programada.

4.3.2. Recolección y visualización de datos en el nodo recolector

Para evidenciar y validar la recolección de datos, se debe tener comunicación entre el sensor y el microcontrolador ESP32-C3, posteriormente se inicializa el monitor serial del entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino para verificar la recopilación de datos en tiempo real.

Es importante considerar que, según la programación del código, antes de inicializar el sensor UV para iniciar con la toma de datos, el microcontrolador debe establecer una conexión Wi-Fi para acceder a internet, tal como se detalla en la Figura 63.

Figura 63

Validación de recolección de datos

```

ESP-ROM:esp32c3-api1-20210207
Build:Feb  7 2021
rst:0x1 (POWERON),boot:0xc (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
SPIWP:0xee
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fcd5810,len:0x438
load:0x403cc710,len:0x918
load:0x403ce710,len:0x25f4
entry 0x403cc710
Conectando a la red: eduroam ←
...
WiFi conectado
Direccion IP:
172.20.156.255
LTR390 VOC Sensor Init
178
UV = 0
UV = 4 ← Valor de UV registrado por el sensor
UV = 4

```

4.3.3. Envío y recepción de datos a Firebase Realtime Database

Para validar que los datos recopilados por el sensor UV se envían correctamente a Firebase, se verifica en la ubicación específica de la base de datos que el valor de UV se actualice en tiempo real, tal como se detalla en la Figura 64.

Figura 64

Validación de recepción de datos en Firebase

The screenshot shows the Firebase Realtime Database interface for an ESP32 project. The left sidebar contains navigation options like 'Realtime Database', 'Firestore Database', and 'Messaging'. The main area displays the database structure with a path: `https://esp32-bb92f-default-rtdb.firebaseio.com/Sensores/Sensor_UV: 4`. A red arrow points to the value '4' in the 'Sensor_UV' node, indicating the data received from the sensor.

4.3.4. Visualización de datos en aplicación móvil

La aplicación móvil está diseñada con el objetivo de mostrar la información de manera clara y concisa al usuario final. Según la programación del código de la aplicación, dependiendo del valor de radiación UV recopilado por el sensor, se mostrarán las recomendaciones correspondientes a dicho nivel de radiación UV. Para validar que la integración de la aplicación y la base de datos en la nube es correcta, la aplicación debe actualizar en tiempo real el valor de radiación UV registrado en la base de datos de Firebase, tal como se detalla en la Figura 65.

Figura 65

Validación de datos en aplicación móvil

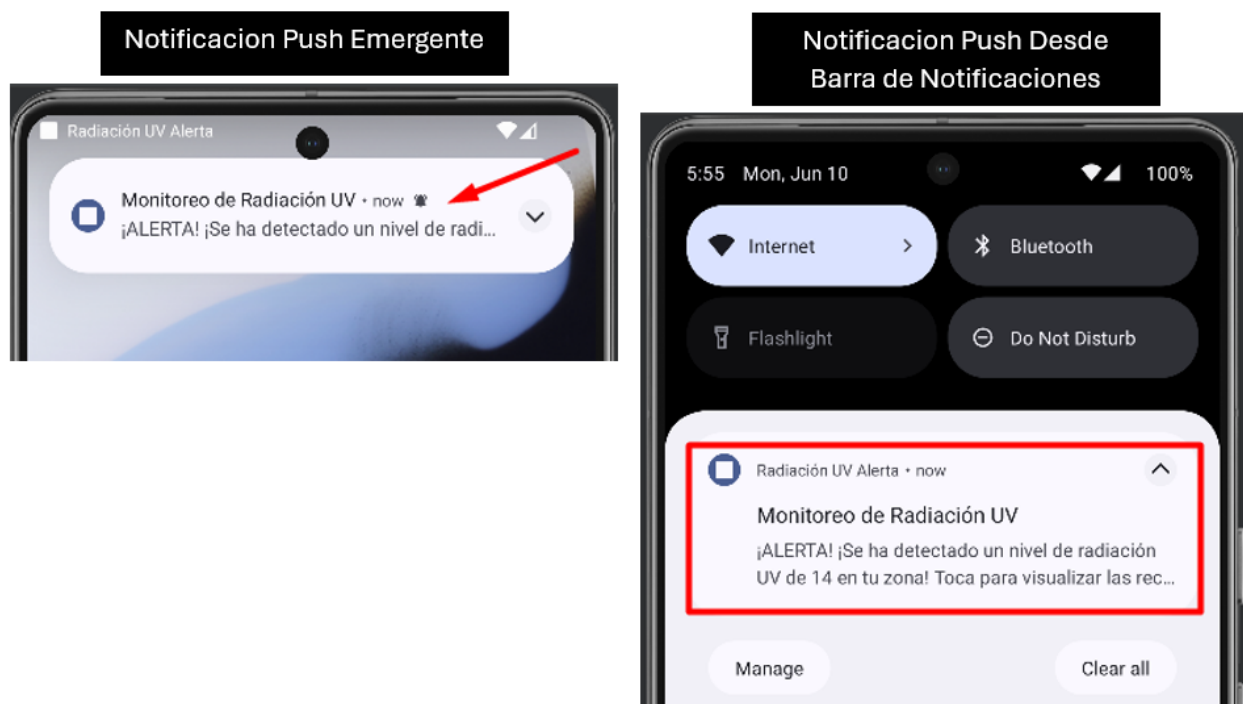


Finalmente, para verificar el envío de alertas mediante notificaciones push, la aplicación móvil debe registrar un valor elevado de radiación UV. Según la programación del código de la

aplicación, cuando el valor de UV es mayor que 5, se envía una notificación push indicando el nivel de radiación UV detectado en ese momento, tal como se detalla en la Figura 66.

Figura 66

Validación de Notificaciones Push Android Studio



CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Al concluir las etapas de programación, diseño y pruebas preliminares de integración del prototipo, se lleva a cabo la implementación de este en la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, con el fin de evaluar su desempeño basado en el plan de pruebas establecido.

4.1. Plan de pruebas

Es fundamental elaborar un plan o cronograma de pruebas de funcionamiento que permita evaluar el desempeño de las diferentes fases del prototipo durante el período de implementación en el lugar de interés, como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Plan de pruebas de funcionamiento

Tipo de prueba	Ubicación del lugar de pruebas	Resultados	Duración
Prueba 1. Prueba de duración de la batería del dron y del sistema embebido.	Granja Experimental Yuyucocha UTN	Se comprueba el tiempo de duración real de la batería tanto del dron como del sistema embebido para verificar que el prototipo es capaz de cubrir el periodo de monitoreo propuesto.	5 días, del 10 al 14 de junio
Prueba 2. Prueba de conexión y rango de comunicación entre el sistema embebido y el punto de acceso inalámbrico (Eduroam).	Granja Experimental Yuyucocha UTN	Se verifica que el sistema embebido es capaz de conectarse a la red Eduroam presente en el campus y posteriormente se comprueba el rango o distancia hasta la cual el sistema embebido es capaz de mantener una conexión estable con la red. De esta manera se comprueba que el prototipo cubre la zona de interés y envía los datos recopilados hacia la base de datos en la nube constantemente.	5 días, del 10 al 14 de junio

Prueba 3. Pruebas de funcionamiento del nodo recolector.	Granja Experimental Yuyucocha UTN	Se verifica la sensibilidad del sensor al recolectar datos en diferentes ambientes (con presencia de nubes, despejado y bajo sombra) comprobando la capacidad del sensor para detectar variaciones de los niveles de radiación UV.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio
Prueba 4. Envío y recepción de datos en la base de datos Firebase Realtime.	Granja Experimental Yuyucocha UTN	Se comprueba mediante la consola de Firebase que los datos recopilados por el sensor de radiación UV se actualicen en tiempo real en la base de datos durante la ruta de monitoreo programada.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio
Prueba 5. Recepción y visualización de datos en aplicación móvil.	Granja Experimental Yuyucocha UTN	La prueba de recepción y visualización de datos se realiza mediante la aplicación móvil desarrollada para este fin, obteniendo como resultado la representación del valor de Radiación UV en tiempo real con sus respectivas recomendaciones y las alertas mediante notificaciones push generadas por la aplicación.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio
Prueba 6. Prueba de precisión de waypoints o puntos de ruta programados.	Granja Experimental Yuyucocha UTN	Se determina la precisión que tiene el dron al momento de realizar una ruta programada y se verifica la diferencia de distancia entre el punto de origen y el punto de aterrizaje.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio

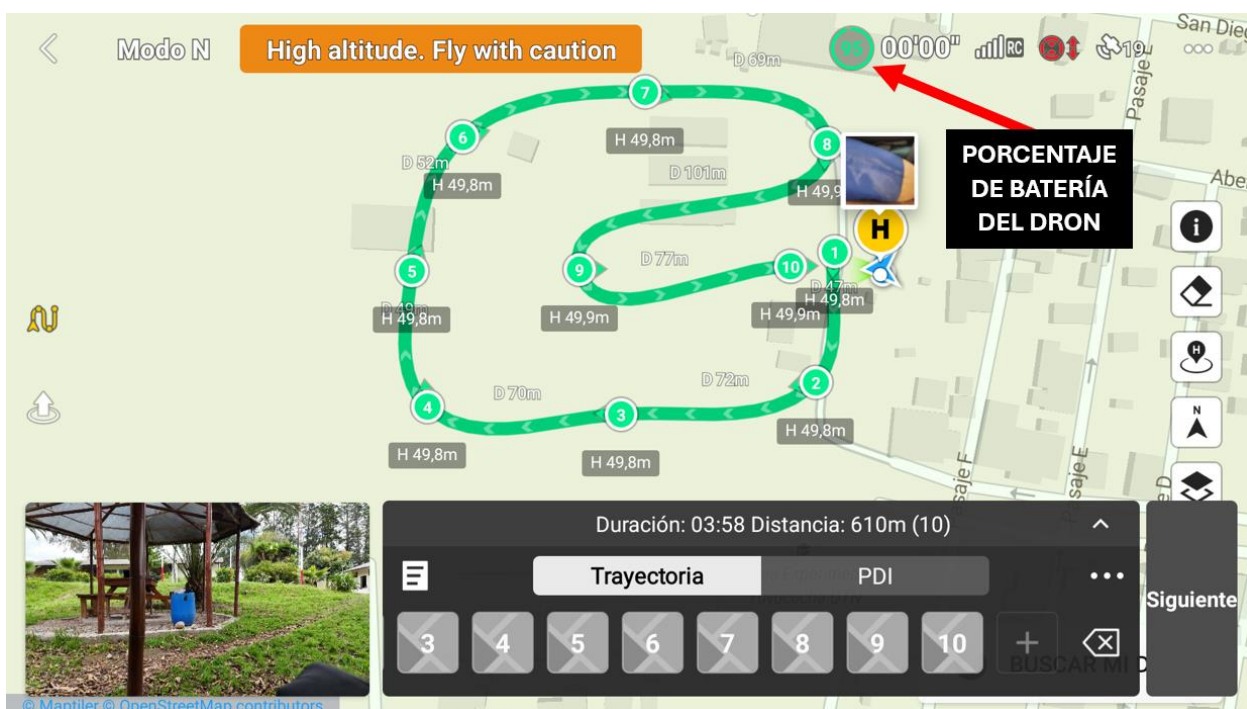
4.1.1. Prueba 1. Duración de batería de dron y sistema embebido

Según las especificaciones proporcionadas por DJI, la batería del dron Mini 4 Pro tiene una capacidad de 2590 mAh, lo que proporciona una duración aproximada de 34 minutos de vuelo en condiciones óptimas.

Para realizar la prueba de duración real de la batería, se verifica que esté completamente cargada y se ejecuta repetidamente la ruta de vuelo programada en el Campus Granja Experimental Yuyucocha, tal como se muestra en la Figura 67.

Figura 67

Prueba de duración de batería DJI Mini 4 Pro



Cuando se programan los waypoints o rutas automatizadas, el DJI Mini 4 Pro es capaz de calcular la distancia y el tiempo que le tomará realizar dicha ruta. Si la batería se agota durante el recorrido, el Mini 4 Pro activará automáticamente el modo de Regreso al Punto de Origen, permitiendo que regrese de forma segura al punto de despegue. Por ende, antes de iniciar la ruta, el dron verifica que el nivel de batería sea suficiente y, en caso de que no sea así, no permitirá ejecutar la ruta, tal como se detalla en la Figura 68.

Figura 68

Alerta de batería baja DJI Mini 4 Pro



De la misma manera, la prueba de duración de la batería del sistema embebido se realiza verificando que esté completamente cargada, como se detalla en la Figura 69.

Figura 69

Prueba de duración de batería sistema embebido



En este caso, la batería del sistema embebido no cuenta con un sistema que alerte cuando el nivel de batería es bajo. Por lo tanto, para realizar la prueba de duración real, es necesario verificar periódicamente el nivel de batería con ayuda de un cargador externo, tal como se muestra en la Figura 70.

Figura 70

Comprobación de nivel bajo de batería sistema embebido



La duración de la batería del dron varía debido a factores como las condiciones del viento, la temperatura y la velocidad de vuelo. Del mismo modo, la batería del sistema embebido se ve afectada por la temperatura y los cambios en el consumo de la placa ESP32-C3, ocasionados por los intentos de reconexión a la red Wi-Fi, tal como se evidencia en la Tabla 17.

Tabla 18*Pruebas de duración de batería de dron y sistema embebido*

Numero de prueba	Duración Batería de dron (3 baterías)	Duración Batería del sistema embebido
# 1	79 min (25, 28, 26)	5h 33 min
# 2	81 min (30, 25, 26)	5h 14 min
# 3	75 min (25, 26, 24)	5h 25 min
# 4	82 min (27, 29, 26)	5h 9 min
# 5	77 min (25, 27, 25)	5h 18 min
Tiempo Promedio	1h 18min	5h 19 min

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 17, se verifica que el consumo real de la batería del sistema embebido difiere del cálculo teórico. Asimismo, la duración de la batería del dron es menor que la especificada por el fabricante.

Es muy importante realizar este tipo de pruebas para verificar el consumo real del prototipo y, por ende, su tiempo de duración, ya que esto permite planificar oportunamente cómo se desarrollarán los períodos de monitoreo.

Con base en los resultados obtenidos, la duración promedio de las tres baterías del dron es de una hora y 18 minutos. Por lo tanto, se establece un periodo de monitoreo comprendido entre las 11 a.m. y la 1 p.m., con intervalos de 5 minutos, con el objetivo de cubrir las 2 horas de monitoreo, considerando que en ese horario el sol presenta su máxima radiación. En cuanto a la batería del sistema embebido, la duración promedio es de 5 horas y 19 minutos, lo que indica que es capaz de soportar dos periodos de monitoreo antes de ser recargada.

4.1.2. Prueba 2. Rango de comunicación entre sistema embebido y punto de acceso inalámbrico

Mediante la prueba de rango de comunicación es posible determinar hasta qué punto o distancia el sistema embebido puede mantener un enlace o conexión con la red WiFi Eduroam que irradia en el Campus Granja Experimental Yuyucocha. Esta prueba permite definir un perímetro o frontera hasta la cual la conexión inalámbrica entre el sistema embebido y el punto de acceso es estable, con el objetivo de garantizar que el prototipo mantenga una conexión a internet continua durante el periodo de monitoreo.

Antes de realizar la prueba de rango de comunicación, se verifica que el sistema embebido se conecte a la red Eduroam del Campus Granja Experimental Yuyucocha, como se muestra en la Figura 71.

Figura 71

Conexión a red WiFi Eduroam Campus Granja Experimental Yuyucocha



Figura 72

Comprobación de conexión a red WiFi Eduroam

The image shows two side-by-side windows. The left window is an IDE with the following code:

```

Codigo_Tesis_SensorUV.ino  esp_wpa2.h
1 //Librerias utilizadas
2 #include <Arduino.h>
3 #include "LTR390.h"
4 #include <WiFi.h>
5 #include <FirebaseESP32.h>
6
7 //Definición de variables para conexión Wi-Fi
8 #define EAP_IDENTITY "eamenesesp@utn.edu.ec"
9 #define EAP_USERNAME "eamenesesp@utn.edu.ec"
10 #define EAP_PASSWORD "A7a-I1U5S-"

```

The Serial Monitor shows the following output:

```

ESP-ROM:esp32c3-apil-20210207
Build:Feb 7 2021
rst:0x1 (POWERON),boot:0xc (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
SPIWP:0xee
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fcd5810,len:0x438
load:0x403cc710,len:0x918
load:0x403ce710,len:0x25f4
entry 0x403cc710
Conectando a la red: eduroam
.....
WiFi conectado
Direccion IP:
172.20.158.47
LTR390 VOC Sensor Init
178
Nivel de radiación UV = 0
Nivel de radiación UV = 5

```

A red box highlights the IP address '172.20.158.47' in the serial monitor, with an arrow pointing to a box labeled 'IP ASIGNADA A ESP32 C3 (SISTEMA EMBEBIDO)'. The right window is a Windows IP configuration window for the Wi-Fi adapter, showing the following configuration:

```

Configuración IP de Windows
Adaptador de Ethernet Ethernet:
Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 1:
Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 10:
Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:
Sufijo DNS específico para la conexión. . . : utn.edu.ec
Dirección IPv6 . . . . . : 2801:10:6800:128::1485
Vínculo: dirección IPv6 local. . . . : fe80::4bb4:29bc:2599:d07d%14
Dirección IPv4. . . . . : 172.20.154.214
Máscara de subred . . . . . : 255.255.224.0
Puerta de enlace predeterminada . . . : fe80::42f0:78ff:fe45:172.20.128.1
C:\Users\edin6>

```

A red box highlights the IP address '172.20.154.214' in the Windows configuration window, with an arrow pointing to a box labeled 'IP ASIGNADA A COMPUTADOR'.

Cuando el sistema embebido pierde la conexión a internet, la base de datos en la nube guarda y mantiene el ultimo valor recibido, por tanto, no resulta factible visualizar la base de datos para determinar el momento en el que el sistema embebido pierde la conexión con la red WiFi.

Para realizar la prueba de distancia de conexión se emplea la aplicación móvil NetSpot la cual permite analizar y monitorizar la red WiFi para visualizar la cobertura, interferencias y calidad de la señal, de esta manera es posible trazar un perímetro que determine hasta qué punto la conexión es estable.

Antes de iniciar la prueba de rango de conexión, es necesario ubicar el punto de acceso o antena que irradia la señal WiFi. En este caso, el campus Granja Experimental Yuyucocha cuenta

con un enlace inalámbrico punto a punto el cual se conecta con el campus principal, tal como se detalla en la Figura 73.

Figura 73

Enlace punto a punto Granja Experimental Yuyucocha



La aplicación móvil NetSpot utiliza un mapa o imagen para graficar los puntos o zonas que representan la calidad de la señal. Por lo tanto, es necesario disponer de una imagen de vista superior de la granja para que las zonas se representen correctamente, tal como se indica en la Figura 74.

Figura 74

Vista superior Campus Granja Experimental Yuyucocha

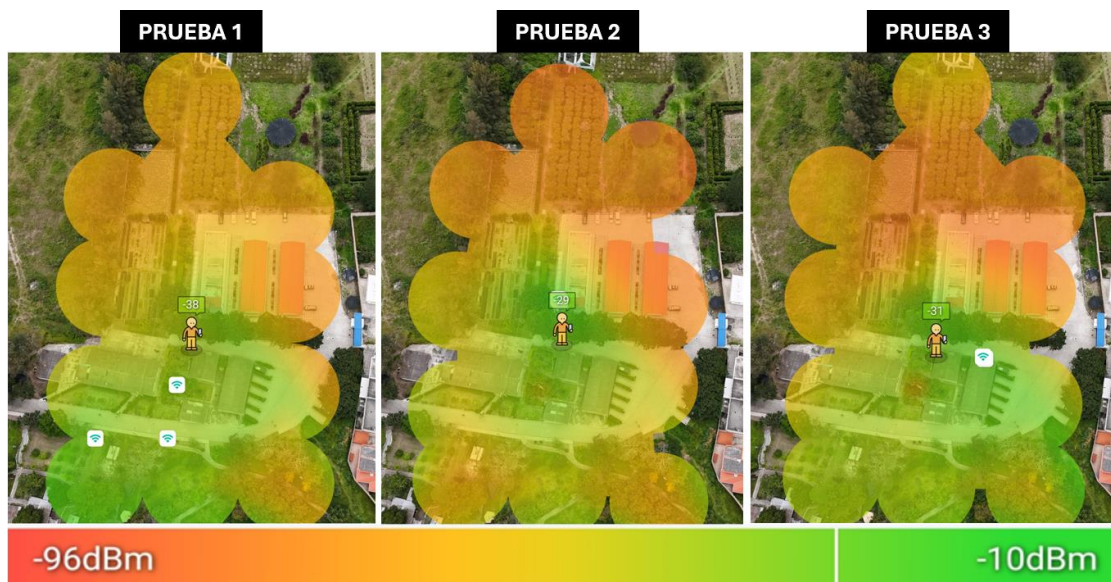


Para ejecutar las pruebas en la aplicación móvil, se considera como zona central el lugar donde está ubicado el punto de acceso inalámbrico (eduroam).

Se realiza el escaneo de la calidad de la señal de la red en 12 puntos diferentes alrededor de la zona central, con el objetivo de cubrir las zonas principales de la granja, tal como se muestra en la Figura 75.

Figura 75

Pruebas de calidad de señal WiFi NetSpot



La aplicación representa en color verde las zonas donde la calidad de la señal es aceptable, y en color naranja/rojo las zonas donde la señal es deficiente. La calidad de la señal se mide en dBm, que indican la fuerza de la señal que el dispositivo recibe del punto de acceso. Esto significa que las zonas verdes tienen un valor más cercano a cero en comparación con las zonas naranjas o rojas. Dado que los valores de dBm varían conforme el dispositivo se aleja de la zona central, es necesario establecer un rango que defina la calidad de la señal en función del valor de dBm recibido, tal como se detalla en la Tabla 18.

Tabla 19

Calidad de la señal en base a valor de potencia

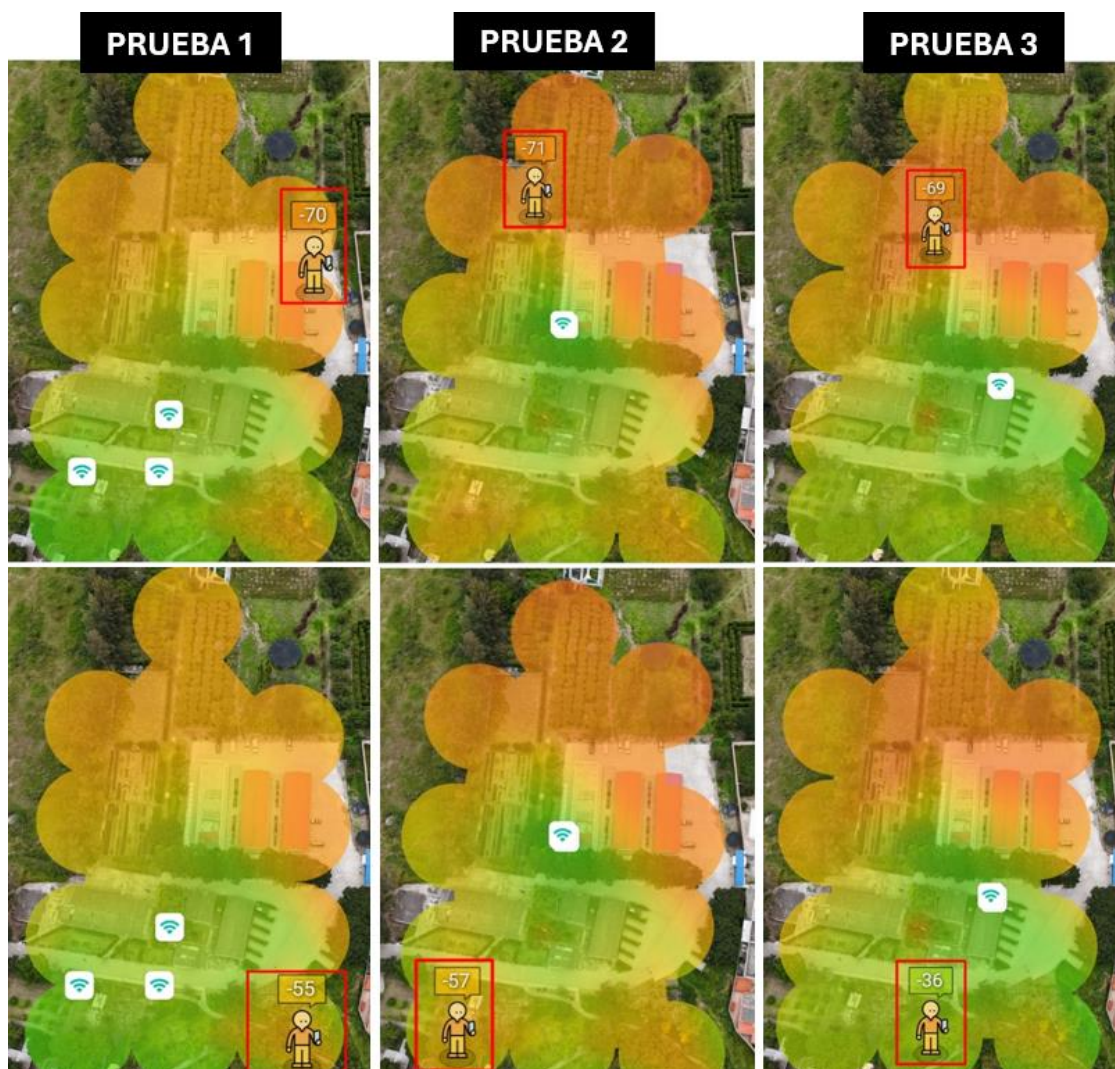
Valor de dBm	Calidad de la señal
-30 dBm a -50 dBm	Excelente señal
-51 dBm a -60 dBm	Muy buena señal
-61 dBm a -70 dBm	Buena señal

-71 dBm a -80 dBm	Señal baja, puede haber problemas de conexión
-81 dBm a -90 dBm	Señal muy baja, conexión inestable o difícil de mantener
-91 dBm y menores	Señal extremadamente baja, probablemente no se pueda conectar

Basado en la Tabla 18, se verifica mediante la aplicación NetSpot hasta qué punto la señal es de -70 dBm, considerando que este valor indica una calidad de señal buena, tal como se muestra en la Figura 76.

Figura 76

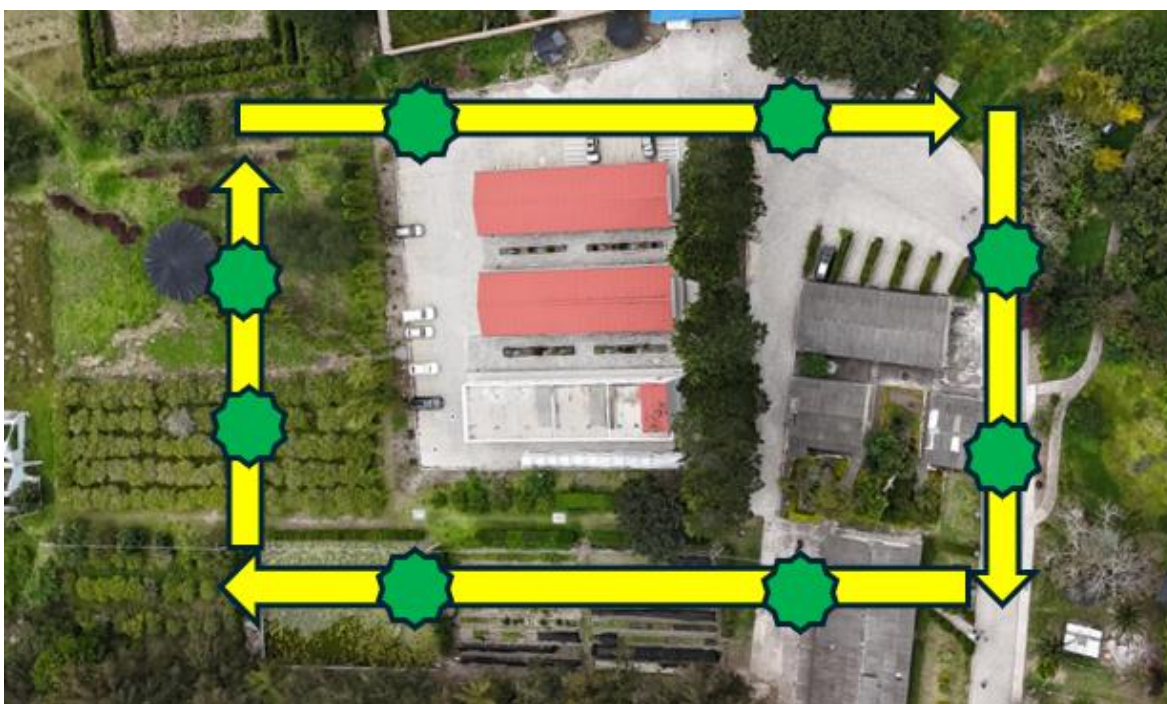
Verificación de calidad de señal NetSpot



Mediante las pruebas realizadas, se verifica que los resultados obtenidos son similares en los tres casos. Esto permite tener una perspectiva más clara a la hora de establecer los puntos de ruta o waypoints en el dron y asegurar que la ruta programada permita al sistema embebido mantener una conexión activa a internet, evitando así problemas de desconexión, tal como se detalla en la Figura 77.

Figura 77

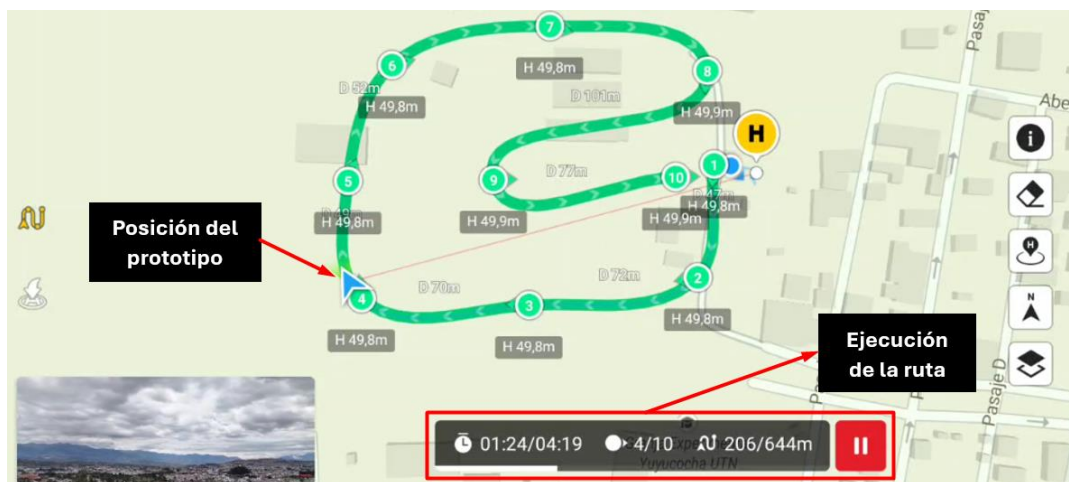
Definición de puntos de ruta en base a calidad de la señal



Es importante considerar que factores como el viento, la vegetación y otros dispositivos inalámbricos pueden causar interferencias en la conexión del sistema embebido con la red WiFi. Sin embargo, el módulo ESP32-C3 está programado para manejar reconexiones en caso de pérdida momentánea de la comunicación entre la red y el dispositivo. Finalmente, para verificar el rango de comunicación, se programa y ejecuta la ruta en el dron, tal como se muestra en la Figura 78.

Figura 78

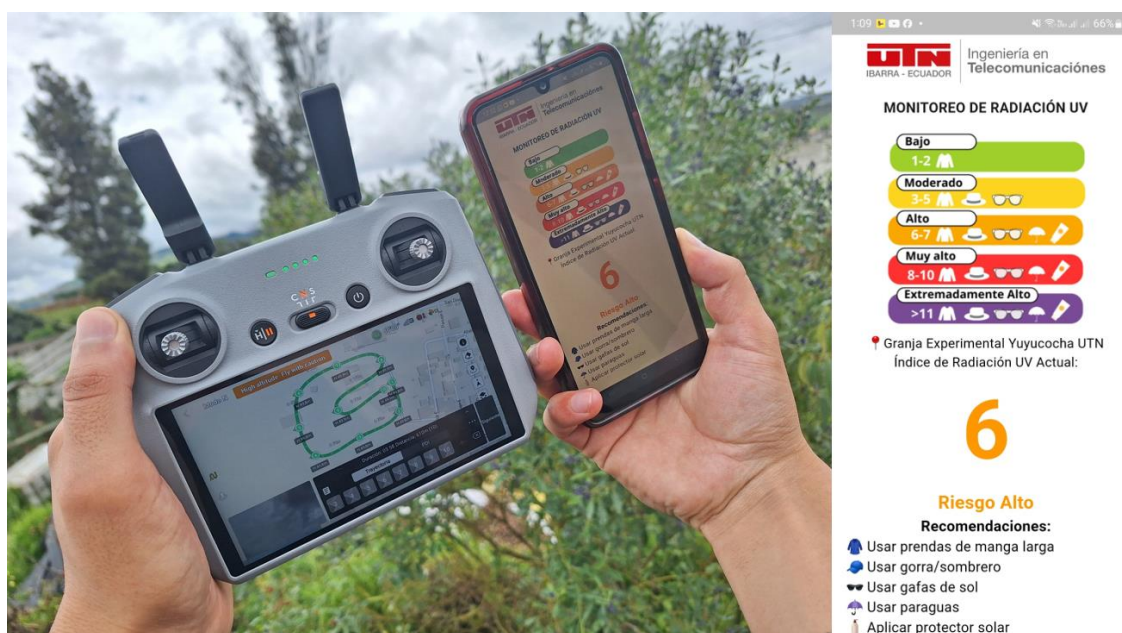
Programación y ejecución de ruta en base a calidad de señal



Mediante la aplicación móvil, se visualiza que los valores de radiación UV se actualizan constantemente y en tiempo real durante la ejecución de la ruta programada. De esta manera, se verifica que la ruta establecida es óptima y asegura que el prototipo mantiene una conexión estable a internet durante el recorrido, tal como se detalla en la Figura 79.

Figura 79

Verificación de conexión inalámbrica entre prototipo y red WiFi



4.1.3. Prueba 3. Pruebas de funcionamiento del nodo recolector

El sensor de radiación UV mide la intensidad de luz en un rango de espectro de 280 a 430 nm, abarcando así el rango de la radiación UV-B, que está comprendido entre 280 y 315 nm. La prueba de funcionamiento del nodo recolector busca comprobar la sensibilidad del sensor y su capacidad para detectar cambios en los niveles de radiación UV causados por variaciones climáticas, como la presencia de nubes, cielos despejados y sombras.

4.1.3.1. Ambiente despejado

Se realiza una prueba de medición del nivel de radiación UV en un escenario sin nubes y con una fuerte sensación de calor para determinar la sensibilidad del sensor, tal como se detalla en la Figura 80.

Figura 80

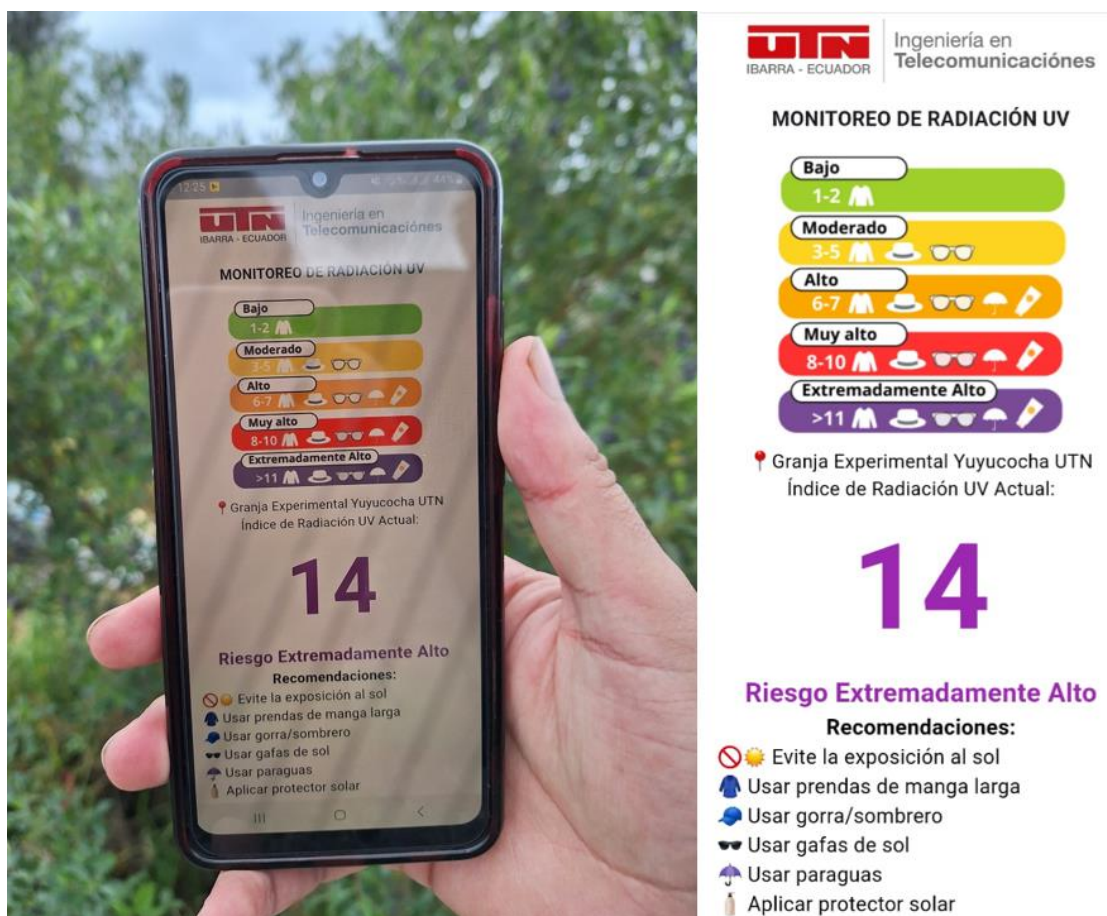
Verificación de sensibilidad del sensor en ambiente despejado



El valor de radiación UV detectado por el sensor es de 14, considerado como un índice extremadamente alto. De esta forma, se verifica que el sensor es capaz de detectar niveles elevados de radiación UV, correspondientes con el ambiente en el que se realiza la prueba, tal como se detalla en la Figura 81.

Figura 81

Resultado de medición en ambiente despejado

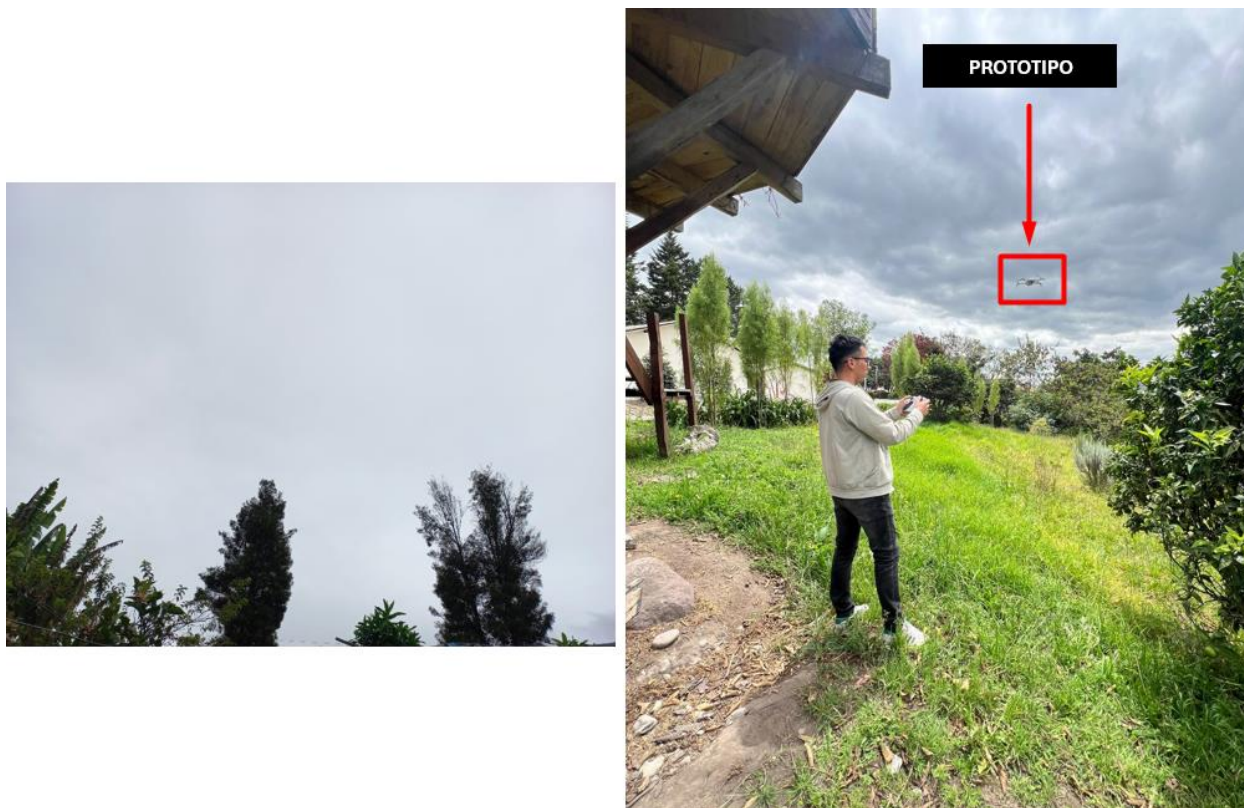


4.1.3.2. Ambiente nublado

La prueba de medición del nivel de radiación UV en un ambiente nublado se realiza en un escenario con abundante presencia de nubes que impiden el paso directo de los rayos solares. El objetivo es verificar si existe una variación en comparación con un ambiente despejado, donde los rayos solares inciden directamente en el prototipo, tal como se muestra en la Figura 82.

Figura 82

Verificación de sensibilidad del sensor en ambiente nublado



El índice de radiación UV-B detectado por el prototipo varía entre 3 y 4, considerado como un valor moderado que, en comparación con el valor obtenido en la prueba realizada en un ambiente despejado, se verifica un notable descenso en el nivel de radiación UV detectado, de esta manera se comprueba que el sensor es capaz de detectar variaciones en la intensidad de la luz cuando se expone ante ambientes nublados o con presencia considerable de nubes.

Es importante considerar que el valor detectado oscila constantemente entre 3 y 4 debido a los constantes cambios en la densidad de las nubes y otros factores como el viento que hacen que la medición no sea precisa, en comparación a un ambiente despejado donde el prototipo puede detectar con mayor precisión el valor de radiación UV. La Figura 83 muestra los resultados de la medición obtenidos en un ambiente nublado.

Figura 83*Resultado de medición en ambiente nublado*

UTN Ingeniería en
IBARRA - ECUADOR Telecomunicaciones

MONITOREO DE RADIACIÓN UV

📍 Granja Experimental Yuyucocha UTN
Índice de Radiación UV Actual:

4**Riesgo Moderado****Recomendaciones:**

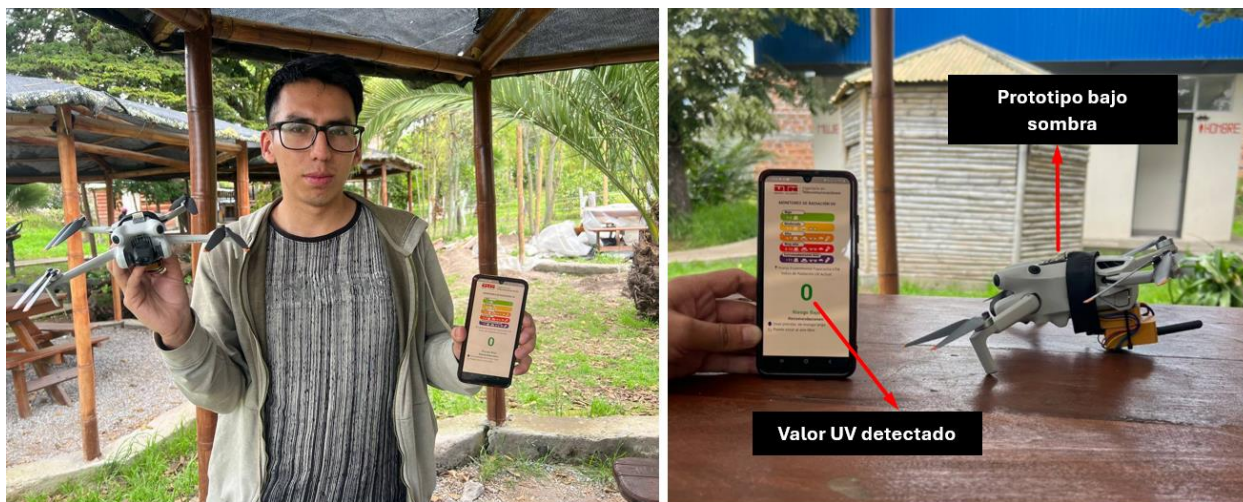
- 👕 Usar prendas de manga larga
- 🧢 Usar gorra/sombrero
- 🕶️ Usar gafas de sol

4.1.3.2. Ambiente bajo sombra

La presente prueba, al igual que las anteriores, tiene como objetivo verificar la sensibilidad del prototipo al realizar mediciones en un ambiente sombreado, es decir, en un escenario donde la luz ultravioleta no incide directa ni parcialmente sobre el sensor. En este caso, la prueba se lleva a cabo bajo la sombra de una caseta ubicada en el área de jardín de la granja, como se muestra en la Figura 84.

Figura 84

Verificación de sensibilidad del sensor en ambiente bajo sombra



Mediante la aplicación móvil, se verifica que el valor del índice de radiación UV detectado por el prototipo en condiciones de sombra es cero. Esto se debe a que el sensor UV, al estar ubicado en la parte superior del dron, detecta mayormente los rayos ultravioletas que inciden directamente sobre él. Por lo tanto, al encontrarse bajo condiciones de sombra, su sensibilidad se ve limitada en gran medida.

Es importante recalcar que, incluso en los lugares sombreados, existe presencia de radiación UV, ya que la luz ultravioleta tiene la capacidad de reflejarse en objetos o en el suelo. Sin embargo, debido a la limitación del sensor en este tipo de condiciones, no es posible que detecte los rayos UV reflejados o provenientes del suelo.

A pesar de esto, mediante la realización de la prueba se verifica que el sensor es capaz de detectar niveles mínimos de radiación UV en condiciones de sombra o bajo techo, como se observa en la Figura 84.

La Tabla 19 resume los resultados obtenidos al realizar pruebas o mediciones de los niveles de radiación UV en diferentes ambientes o escenarios.

Tabla 20

Resultados de mediciones en diferentes ambientes

Ambiente	Indice de Radiación UV detectado	Nivel de Riesgo
Despejado	14	Extremo
Nublado	3 - 4	Moderado
Bajo sombra	0 - 1	Bajo

4.1.4. Prueba 4. Envío y recepción de datos en Firebase Realtime

Para comprobar que los datos recopilados por el nodo recolector se envían correctamente a la base de datos en la nube en tiempo real, se verifica mediante el Serial Monitor del IDE de Arduino que el valor detectado por el sensor coincida con el recibido en la base de datos de Firebase, tal como se detalla en la Figura 85.

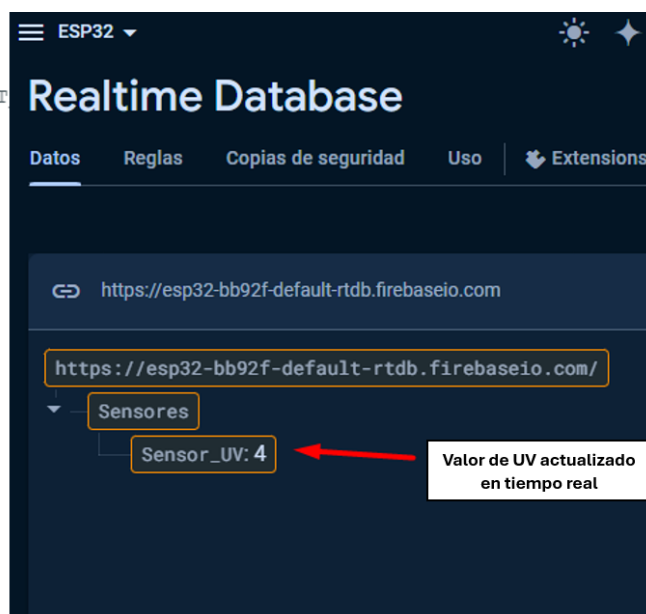
Figura 85

Verificación de envío y recepción de datos en Firebase

```

ESP-ROM:esp32c3-ap11-20210207
Build:Feb  7 2021
rst:0x1 (POWERON),boot:0xc (SPI_FAST
SPIWP:0xee
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fcd5810,len:0x438
load:0x403cc710,len:0x918
load:0x403ce710,len:0x25f4
entry 0x403cc710
Conectando a la red: eduroam
...
WiFi conectado
Direccion IP:
172.20.156.255
LTR390 VOC Sensor Init
178
UV = 0
UV = 4
UV = 4
  
```

Valor de UV detectado y enviado



Es importante considerar que el sistema embebido está programado de tal manera que no permitirá ejecutar las líneas de código responsables del envío de datos a Firebase, a menos que se haya establecido previamente una conexión a Internet o a la red WiFi.

En caso de que el sistema embebido no pueda establecer una conexión con la red WiFi, la base de datos en la nube no recibirá actualizaciones en tiempo real del valor de radiación UV. Sin embargo, la base de datos Realtime Database tiene la capacidad de almacenar y mantener el último valor recibido por el nodo recolector hasta que se reciban nuevas actualizaciones o entradas de datos. Por tanto, para comprobar que los datos recibidos en Firebase Realtime Database se actualizan en tiempo real, es necesario verificar a través del Serial Monitor del IDE de Arduino que el microcontrolador establezca exitosamente la conexión con la red WiFi, tal como se muestra en la Figura 86.

Figura 86

Verificación de actualización de datos en tiempo real Firebase

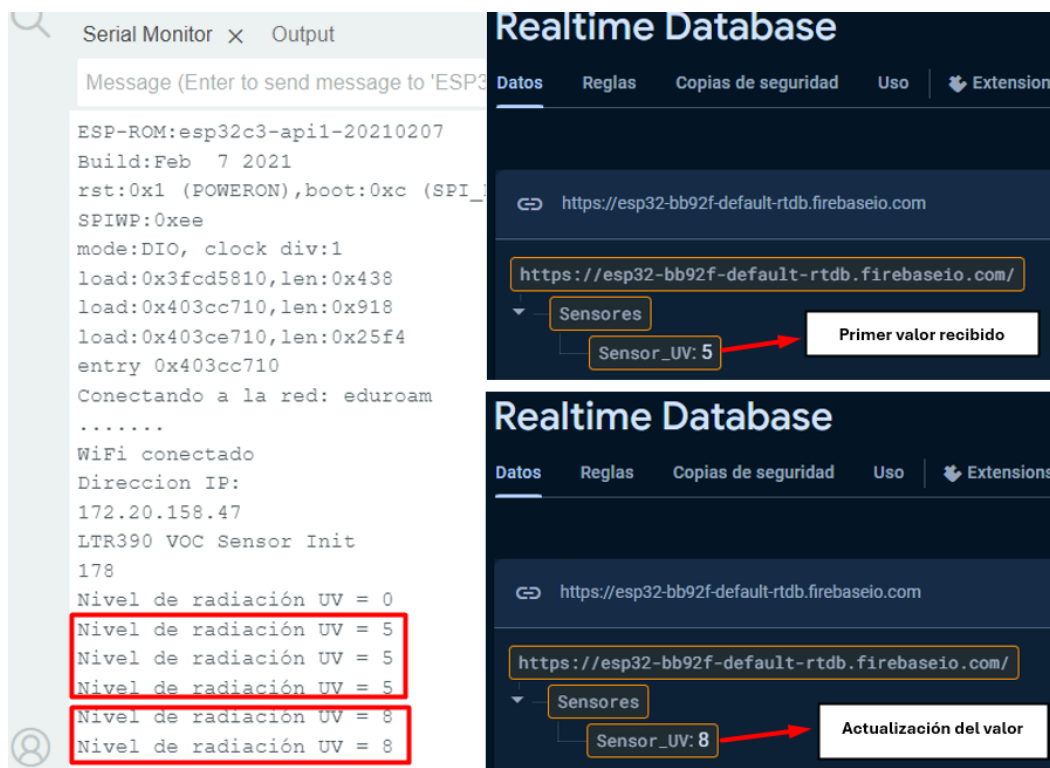
The figure consists of two side-by-side screenshots. The left screenshot shows the Arduino Serial Monitor output. It displays system boot information for an ESP32, including the build date (Feb 7 2021) and hardware details. The network connection process is shown, with the IP address 172.20.156.255 highlighted in a red box. Below this, the sensor initialization is shown, and the UV value is reported as 1, which is also highlighted in a red box. A red arrow points from this '1' to a black box labeled 'Valor de UV detectado'. The right screenshot shows the Firebase Realtime Database web interface. The URL 'https://esp32-bb92f-default-rtdb.firebaseio.com/' is highlighted in a yellow box. Under the 'Sensores' folder, a node labeled 'Sensor_UV: 1' is visible, with a red arrow pointing to a white box labeled 'Valor de UV recibido'.

Finalmente, para verificar que la base de datos en la nube actualiza en tiempo real los datos recibidos, se genera una variación en los valores de radiación UV detectados por el sensor

y se comprueba en la consola de Firebase que el valor registrado se actualice de acuerdo con lo detectado en el Monitor Serial del IDE de Arduino, tal como se muestra en la Figura 87.

Figura 87

Comprobación de actualización de datos en tiempo real Firebase



Las pruebas realizadas verifican que el valor de radiación UV detectado por el sistema embebido se actualiza en tiempo real en la base de datos Realtime Database. En condiciones óptimas de red, el tiempo de delay o el intervalo que tarda en reflejarse dicho valor en la base de datos en la nube es inferior a un segundo. Es importante destacar que la calidad de la red o la conexión a Internet pueden afectar el tiempo de actualización.

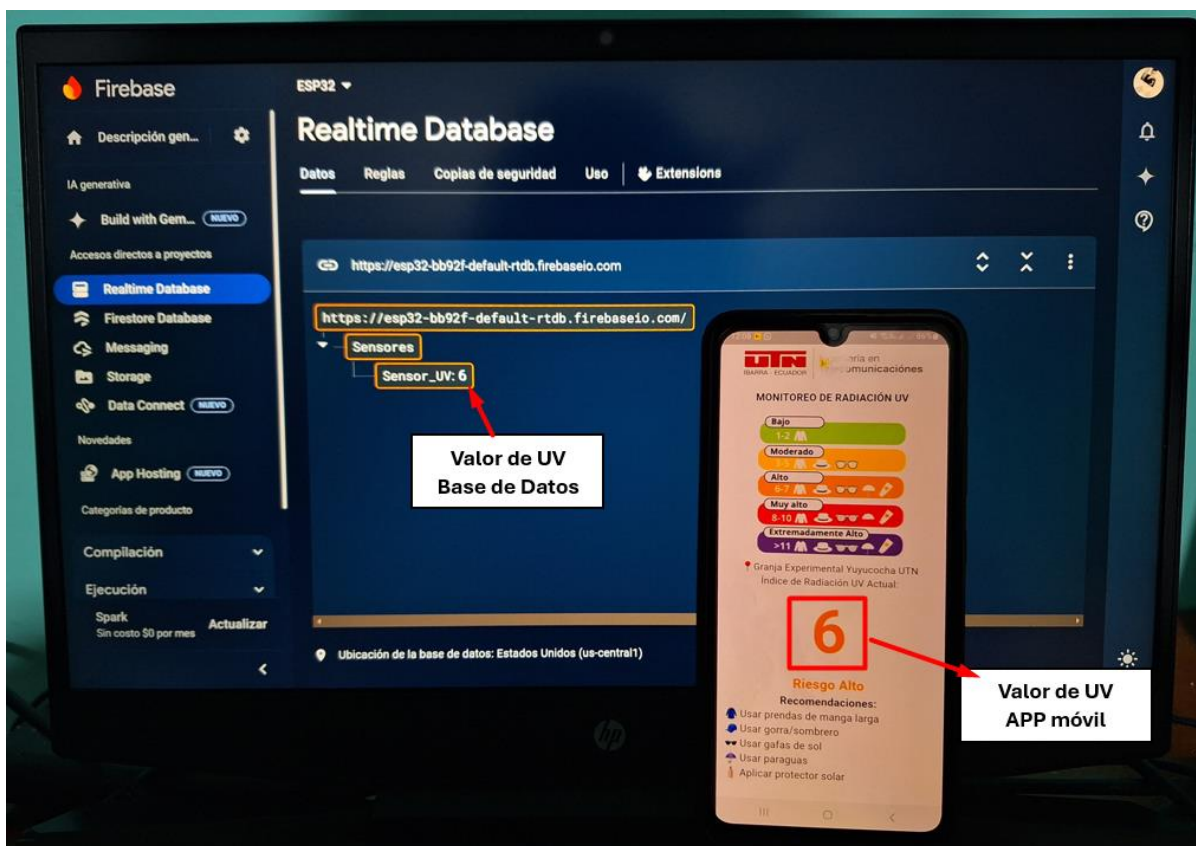
4.1.5. Prueba 5. Envío y recepción de datos en aplicación móvil

Esta prueba se realiza con el objetivo de verificar la correcta integración entre la base de datos en la nube y la aplicación móvil desarrollada. El sistema embebido detecta los niveles de radiación UV y los envía a Firebase. Por su parte, la aplicación móvil tiene la función de extraer

dicho valor almacenado en la base de datos y mostrarlo al usuario. La aplicación móvil muestra al usuario final el valor de radiación UV junto con las medidas o recomendaciones correspondientes para cada valor. Cabe recalcar que es estrictamente necesario que la aplicación móvil disponga de una conexión activa a internet, ya sea mediante datos móviles o una red WiFi; de lo contrario, la aplicación móvil no recibirá las actualizaciones de Firebase. Por tanto, para comprobar que la aplicación se encuentra correctamente integrada con la base de datos, se analiza mediante la consola de Firebase que el valor almacenado corresponda con el que se refleja en la aplicación móvil, tal como se muestra en la Figura 88.

Figura 88

Comprobación de integración entre Firebase y aplicación móvil

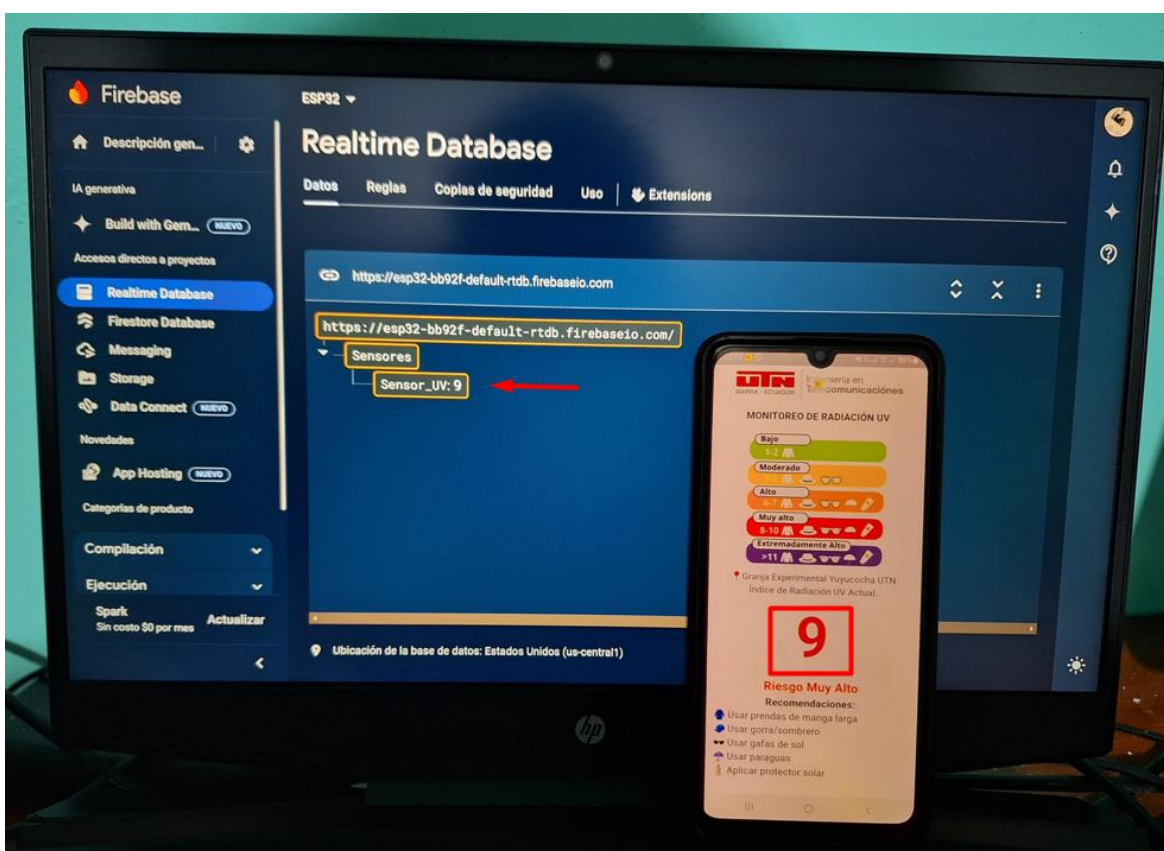


En base a la prueba realizada, se comprueba que los valores de radiación UV que se muestran en la aplicación móvil se actualizan en tiempo real, ya que el delay o retraso que existe

entre la base de datos y la aplicación móvil es mínimo. Cabe recalcar que la prueba se realiza en un ambiente en el que la red es estable tanto para el prototipo como para la aplicación. Por tanto, es necesario realizar una prueba en la que la red de la aplicación móvil sea deficiente para así evaluar si existe un incremento en el retraso o delay entre la aplicación móvil y la base de datos, tal como se muestra en la Figura 89.

Figura 89

Comprobación de tiempo de retraso entre Firebase y aplicación móvil



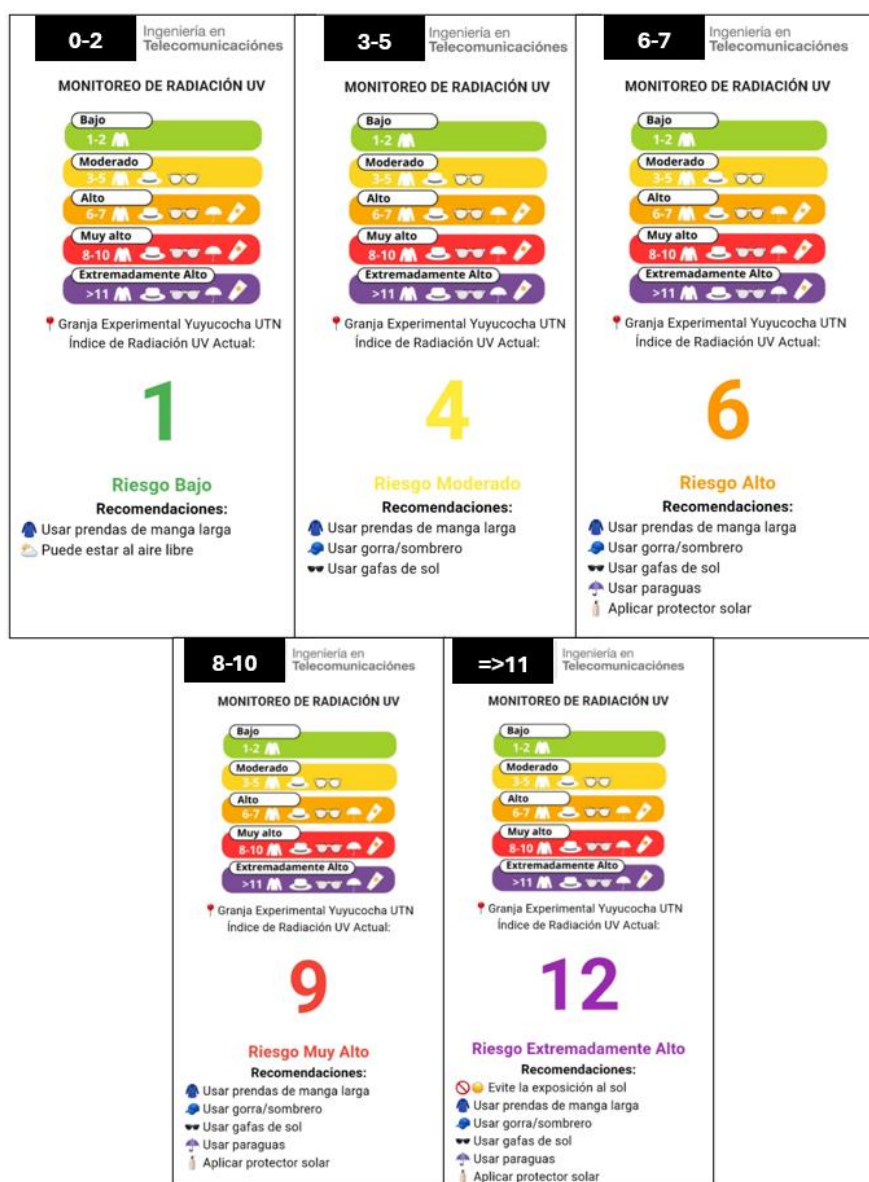
Mediante la prueba se verifica que, tanto en condiciones de red óptimas como deficientes, la aplicación móvil es capaz de mostrar en tiempo real el valor registrado en la base de datos, ya que el retraso o delay es mínimo. Esto se debe a que el valor de radiación UV que la aplicación móvil extrae constantemente de la base de datos es un único valor de tipo entero, el cual a nivel

de transmisión no representa una gran cantidad de datos y, por ende, no necesita de un amplio ancho de banda o alta velocidad de internet para ser transmitido.

De igual manera, se realiza una prueba para verificar que las medidas o recomendaciones que se muestran en la aplicación móvil cambian de acorde al índice de radiación UV detectado, tal como se indica en la Figura 90.

Figura 90

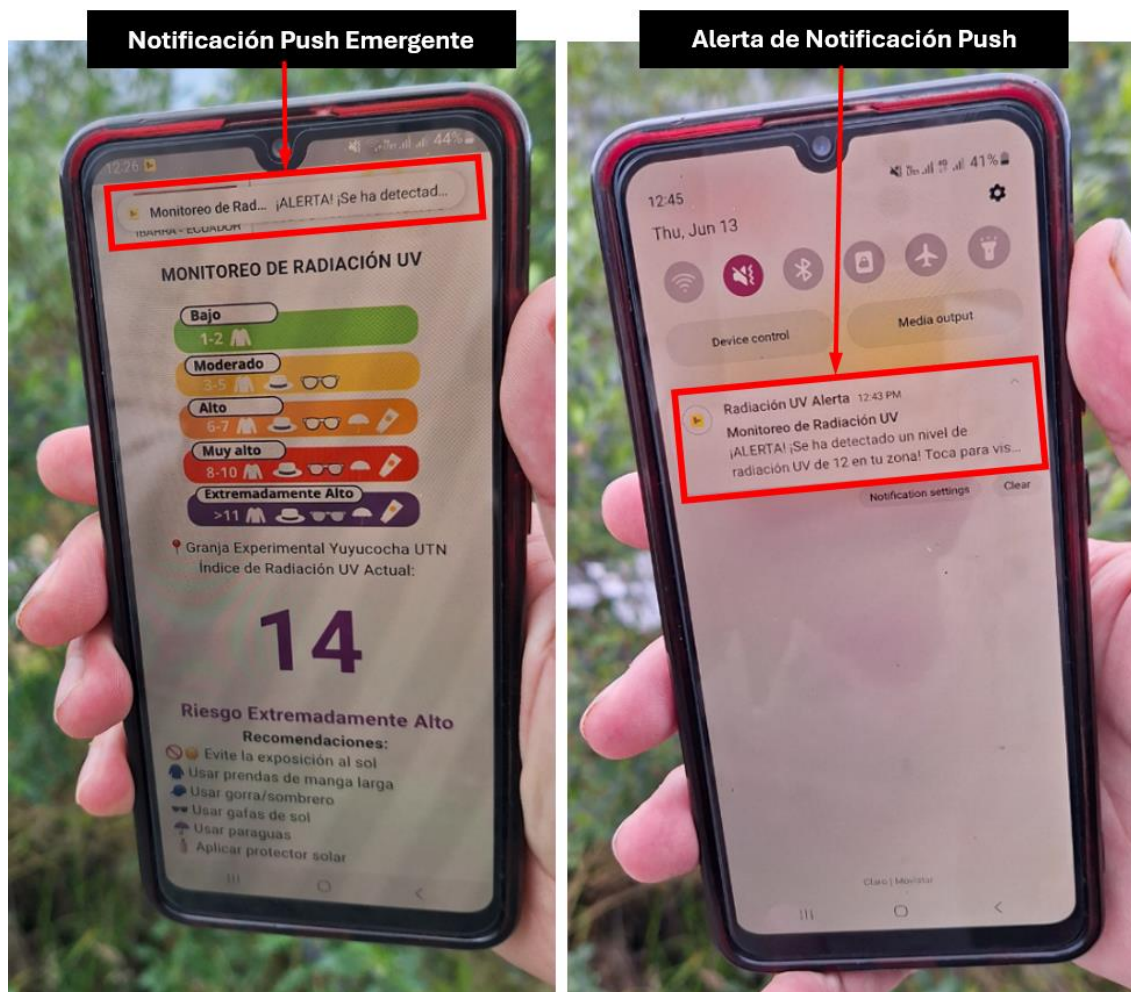
Verificación de medidas y recomendaciones mostradas en aplicación móvil



Finalmente, es importante verificar que las alertas o notificaciones push de la aplicación móvil se muestran cada vez que se registra un valor de radiación UV mayor a 5, tal como se detalla en la Figura 91.

Figura 91

Verificación de notificaciones push en aplicación móvil



Es importante considerar que las notificaciones push mostradas por la aplicación móvil se generan de manera local. Esto significa que cada vez que la aplicación registre un valor de radiación UV mayor a 5, se generará automáticamente la alerta o notificación push. Por lo tanto, si durante el periodo de monitoreo se presentan constantes cambios en los niveles de radiación UV, la aplicación enviará de igual manera constantes notificaciones push al usuario.

Asimismo, se verifica que, en caso de detectar un índice elevado de radiación UV, la aplicación móvil es capaz de enviar alertas o notificaciones push en segundo plano al usuario, tal como se muestra en la Figura 92.

Figura 92

Verificación de notificaciones push en segundo plano



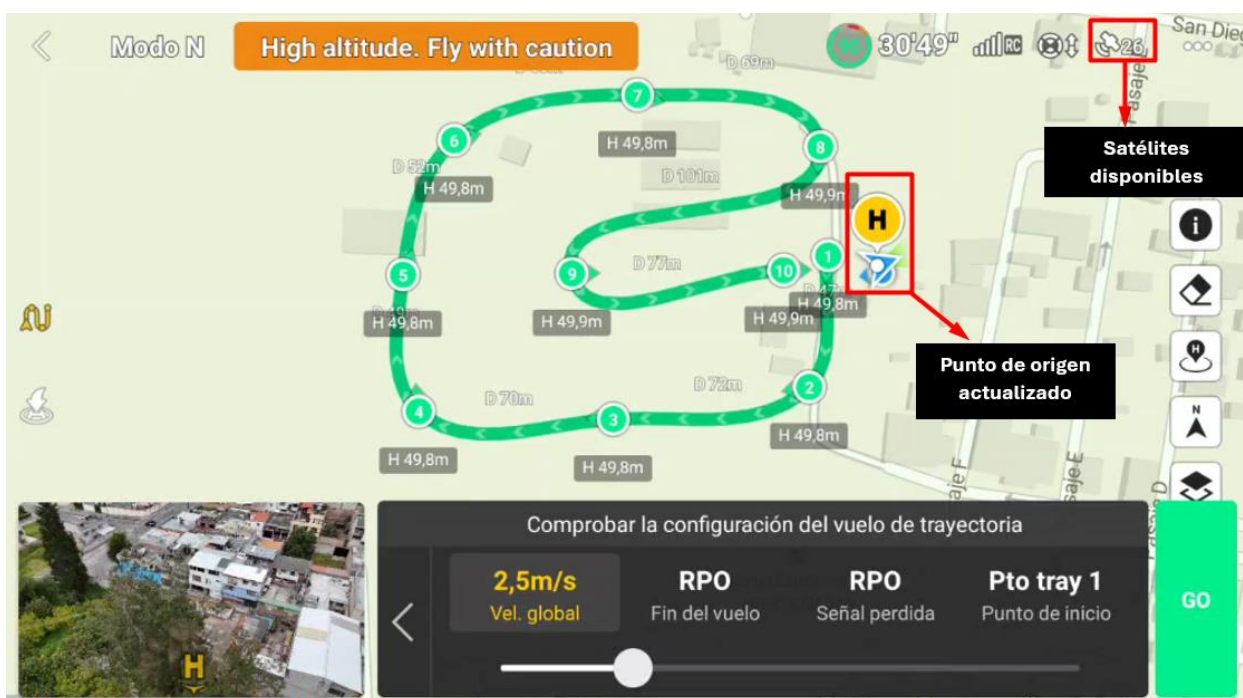
Mediante la prueba se verifica que las alertas o notificaciones push se muestran incluso si el dispositivo móvil se encuentra bloqueado, asegurando así que los estudiantes se mantengan informados sobre los altos niveles de radiación UV presentes en la zona sin la necesidad de abrir constantemente la aplicación móvil. Asimismo, mediante la prueba se verifica que la aplicación móvil envía notificaciones push siempre y cuando se mantenga ejecutándose en segundo plano.

4.1.6. Prueba 6. Precisión de waypoints o puntos de ruta programados

Mediante la prueba de precisión de waypoints, se verifica la capacidad del prototipo para seguir con exactitud la ruta programada. Para ello, antes de ejecutar la ruta, se asegura que el punto de origen del dron esté actualizado y que haya disponibilidad de al menos 20 satélites, tal como se muestra en la Figura 93.

Figura 93

Verificación de punto de origen y satélites disponibles



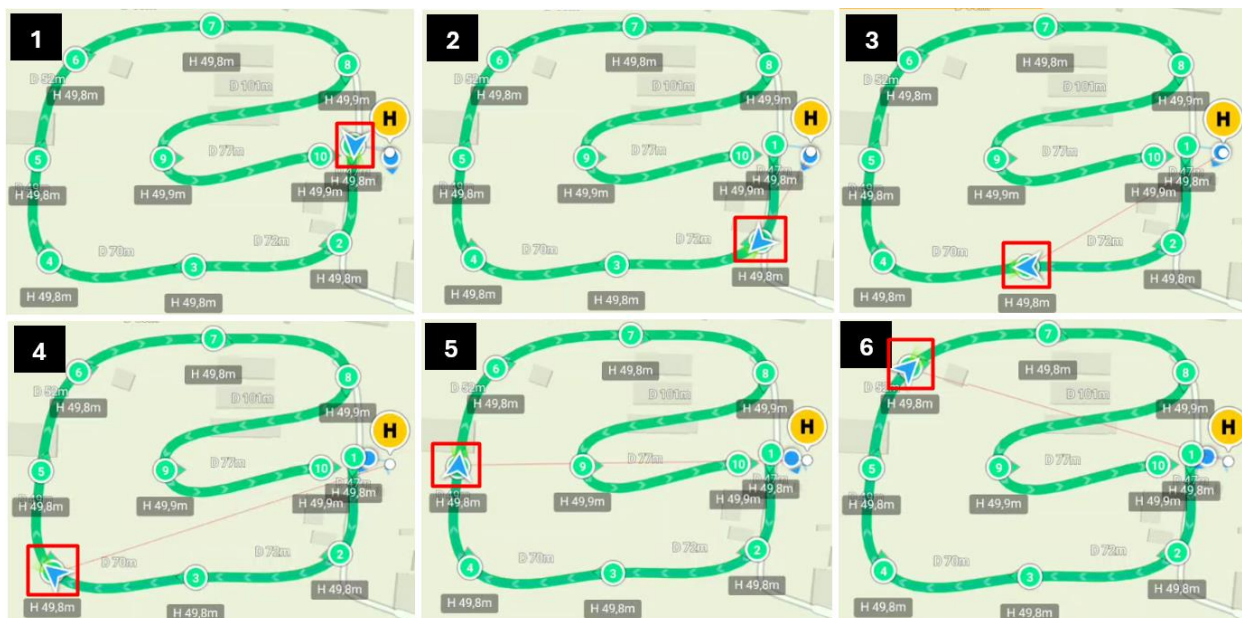
Es necesario que el dron actualice su punto de origen, ya que, al terminar la ruta programada, activa automáticamente la función de regreso al punto de origen para aterrizar en el lugar donde inició. De igual manera, los satélites permiten al dron definir con mayor precisión las coordenadas y actualizar su posicionamiento conforme ejecuta la ruta.

Considerando que a lo largo de la ruta el dron sobrevuela zonas de difícil acceso y a una altitud considerable, resulta complicado marcar puntos de referencia para verificar la precisión del dron al ejecutar la ruta. Por lo tanto, la prueba se realiza visualizando la trayectoria del dron

en el control y verificando la precisión al pasar por los puntos de ruta especificados, tal como se muestra en la Figura 94.

Figura 94

Verificación de precisión de waypoints



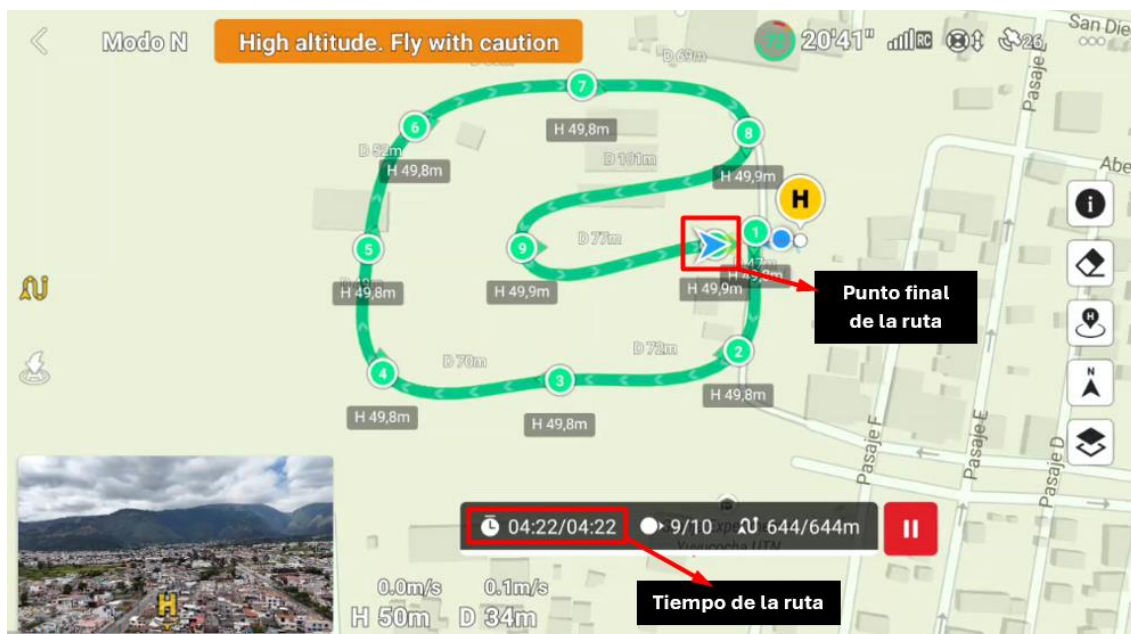
En base a los resultados, se verifica que el prototipo tiene una precisión entre el 95% y el 100% al pasar por los puntos de ruta establecidos.

Es importante considerar que la precisión podría verse afectada por factores como fuertes vientos o la pérdida de conexión con los satélites. Sin embargo, en la Granja Experimental Yuyucocha, el prototipo tiene conectividad con alrededor de 26 satélites, lo que asegura que la ruta se ejecute con gran exactitud.

De igual manera, se verifica que el dron calcula con precisión el tiempo que tarda en realizar la ruta, tal como se detalla en la Figura 95.

Figura 95

Verificación de precisión de tiempo de ruta



Una vez concluida la ruta programada, el dron activa inmediatamente la función de Retorno al Punto de Origen, tal como se detalla en la Figura 96.

Figura 96

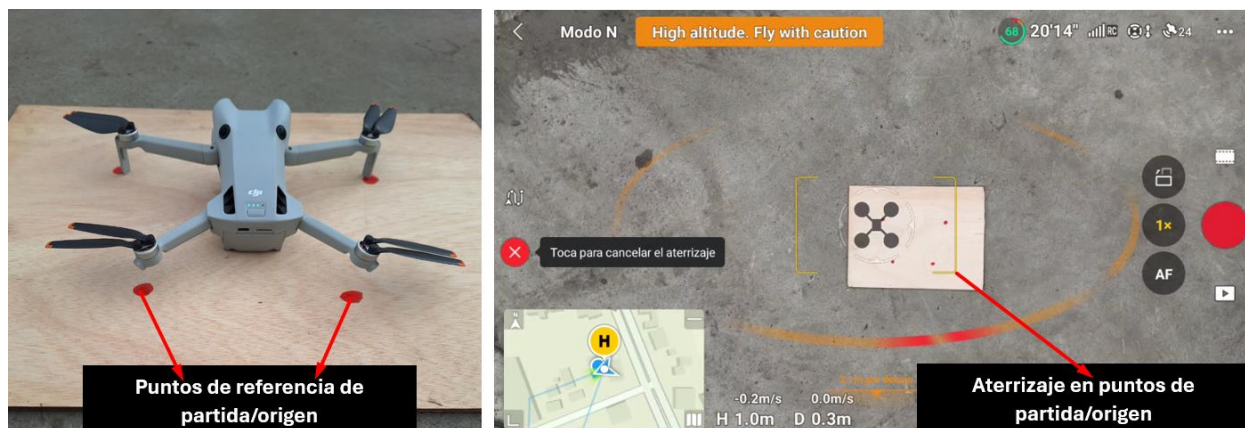
Función de retorno a punto de origen



Para validar el grado de precisión de aterrizaje del dron con respecto al punto de origen, se posiciona el dron sobre una plataforma que sirve como referencia para determinar el punto de partida, tal como se muestra en la Figura 97.

Figura 97

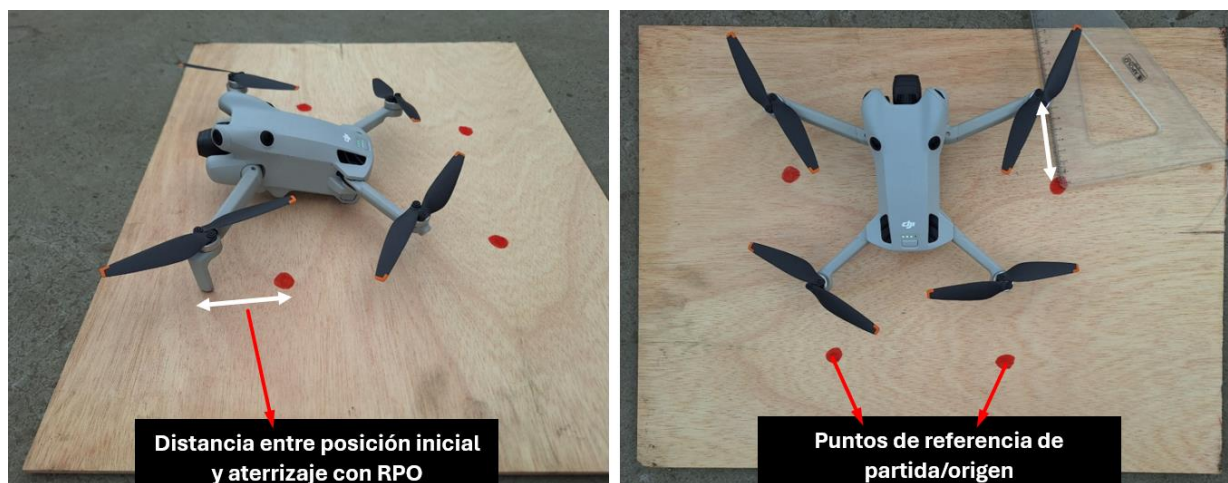
Verificación de precisión de RPO



Conforme a los resultados, se verifica que existe una diferencia de aproximadamente 7 centímetros con respecto al punto de origen, lo que indica una desviación mínima en la precisión del aterrizaje del dron, tal como se muestra en la Figura 98.

Figura 98

Resultado de precisión de RPO



4.2. Resultado de pruebas

Las pruebas realizadas en la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte permitieron verificar la funcionalidad del prototipo de monitoreo de radiación UV. Durante la ejecución de la ruta automatizada, se comprobó que el prototipo es capaz de detectar los niveles de radiación UV presentes en la zona y enviarlos a la aplicación móvil para su visualización en tiempo real. Además, al detectar índices de radiación UV con un alto nivel de riesgo, la aplicación móvil genera una alerta informando sobre el riesgo de exposición y las medidas recomendadas. De esta manera, los estudiantes pueden tomar acciones oportunas, evitando posibles problemas de salud a largo plazo.

De igual manera, las pruebas permitieron identificar las limitaciones del prototipo y realizar ajustes cruciales, como se detalla en la Tabla 20.

Tabla 21

Resultados del plan de pruebas

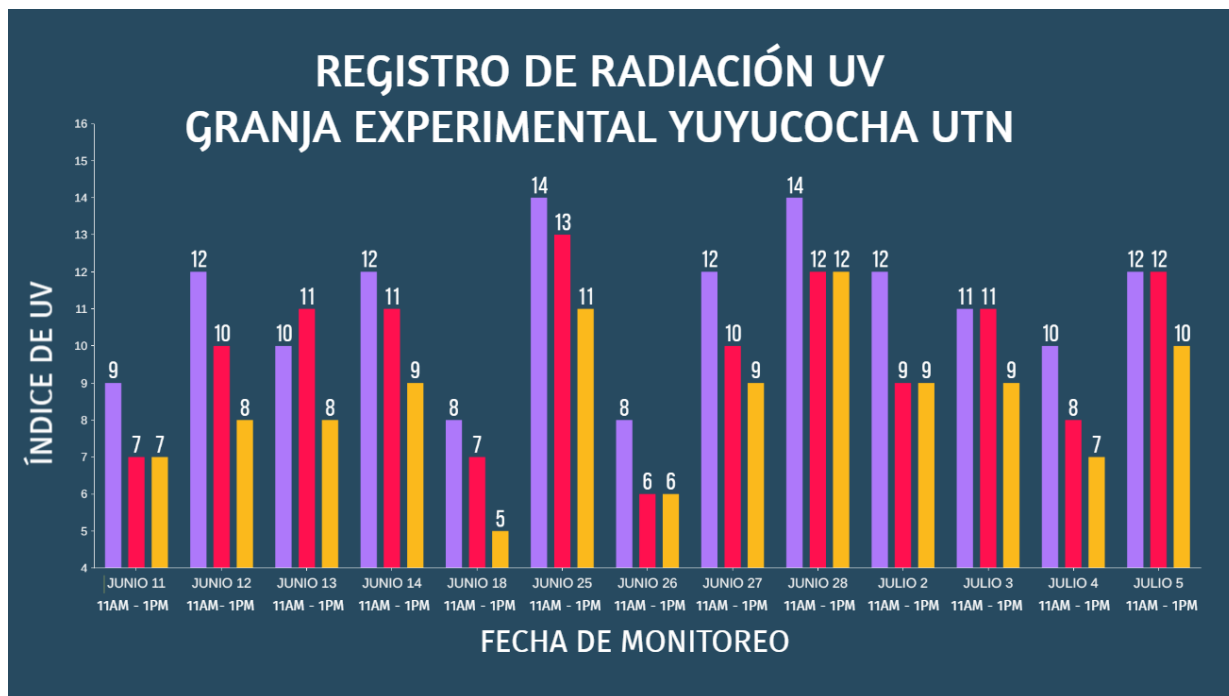
Tipo de prueba	Duración	Observaciones
Prueba 1. Prueba de duración de la batería del dron y del sistema embebido.	5 días, del 10 al 14 de junio	Duración real batería dron: 1h 18min (24min menos que lo especificado por el fabricante). Duración Real batería sistema embebido: 5h 19min (1h 18min menos que el cálculo teórico).
Prueba 2. Prueba de conexión y rango de comunicación entre el sistema embebido y el punto de acceso inalámbrico (Eduroam).	5 días, del 10 al 14 de junio	Se definen los puntos de la ruta automatizada en función de la potencia o calidad de la red.
Prueba 3. Pruebas de funcionamiento del nodo recolector.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio	Sin observaciones.

Prueba 4. Envío y recepción de datos en la base de datos Firebase Realtime.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio	Sin observaciones.
Prueba 5. Recepción y visualización de datos en aplicación móvil.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio	La aplicación móvil debe ejecutarse en segundo plano para generar alertas o notificaciones push.
Prueba 6. Prueba de precisión de waypoints o puntos de ruta programados.	26 días, del 10 de junio al 5 de julio	Sin observaciones.

La Figura 99 muestra el registro de los niveles de radiación UV detectados por el prototipo durante el período de pruebas. Se realizaron tres mediciones entre las 11 AM y la 1 PM, considerando que en ese horario el sol incide con mayor intensidad, generando niveles de alto riesgo de exposición.

Figura 99

Registro de niveles de radiación UV detectados en periodo de pruebas



Finalmente, se llevó a cabo una sesión de socialización con los estudiantes de la Granja Experimental Yuyucocha. El objetivo principal fue, por un lado, explicar detalladamente el funcionamiento del prototipo desarrollado y por otro, concientizar a los participantes sobre los riesgos asociados a la exposición prolongada a la radiación UV. Esta actividad, que resultó ser altamente informativa e interactiva, se documenta en la Figura 100.

Figura 100

Socialización con estudiantes de la Granja Experimental Yuyucocha



Los estudiantes mostraron gran interés tanto en los aspectos técnicos del proyecto como en sus implicaciones para la salud, lo que subraya la relevancia y el potencial impacto positivo de esta iniciativa en la comunidad universitaria. Leidy Toapanta, secretaria encargada, expresó su conformidad con el sistema, destacando la necesidad de un mecanismo que alerte a los estudiantes sobre los elevados niveles de radiación UV en la zona, especialmente durante las épocas del año en que se registran índices más altos. Los estudiantes, por su parte, verificaron el

funcionamiento del prototipo mediante la aplicación móvil y manifestaron su interés en la viabilidad de implementar el proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Mediante las pruebas se comprobó que, durante la ejecución de la ruta automatizada, los valores de radiación UV se actualizan en tiempo real en la aplicación móvil, además, al detectar índices elevados, la aplicación genera alertas inmediatas, informando al usuario sobre los riesgos y permitiéndole tomar las precauciones necesarias.

La planificación de la ruta automatizada en base a la potencia de la red permite que el prototipo mantenga una conexión estable durante todo el trayecto, garantizando que los valores de radiación UV detectados se actualicen constantemente y en tiempo real.

La visualización de los datos recolectados por el prototipo es de fácil interpretación para el usuario, mediante una aplicación móvil que muestra la información a través de una interfaz de usuario sencilla e intuitiva.

Durante el período de pruebas se comprobó que el prototipo es capaz de detectar variaciones en los niveles de radiación UV cuando se expone a diferentes ambientes, como cielos despejados, nublados o sombreados.

Las alertas del nivel de riesgo de radiación UV, junto con las medidas y recomendaciones proporcionadas por la aplicación móvil, permiten al usuario tomar las acciones necesarias para protegerse de la exposición. De esta manera, se evitan enfermedades a corto y largo plazo causadas por la radiación UV.

Recomendaciones

Para asegurar que el prototipo mantenga una conexión estable con la red WiFi, es necesario realizar un estudio previo que permita definir los puntos de ruta que se encuentran dentro del rango de alcance de la red.

Es necesario investigar la disponibilidad de herramientas y librerías de los diferentes dispositivos a utilizar para evitar errores de integración e incompatibilidades durante el desarrollo del proyecto.

En entornos hostiles, como la presencia de fuertes vientos o lluvia, el prototipo puede experimentar fallos que afectan directamente su funcionamiento y que podrían llevar a una avería irreparable.

El software de desarrollo de aplicaciones Android Studio facilita el diseño e integración de aplicaciones móviles debido a su compatibilidad con diversas plataformas y a su amplia disponibilidad de librerías.

El prototipo desarrollado sirve como base para futuros proyectos con mayores prestaciones, que contribuyan a la concientización y al cuidado de la salud.

REFERENCIAS

- IDEAM. (2022). *Características de la radiación solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- TS2 Space. (2021). *Cómo funciona el sistema de navegación por waypoints de un dron*. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de <https://ts2.space/es/como-funciona-el-sistema-de-navegacion-por-waypoints-de-un-dron/>
- DispatchTrack. (2023). *Drones en procesos logísticos: sus usos y limitaciones*. Recuperado de <https://www.beetrack.com/es/blog/drones-en-procesos-logisticos>
- Aviación Civil Ec. (2021). *Ecuador ya cuenta con un reglamento para el uso de drones – Dirección General de Aviación Civil*. Recuperado de <https://www.aviacioncivil.gob.ec/ecuador-ya-cuenta-con-un-reglamento-para-el-uso-de-drones/>
- TS2 Space. (2021). *El papel de los drones en la investigación y el monitoreo ambiental*. Recuperado de <https://ts2.space/es/el-papel-de-los-drones-en-la-investigacion-y-el-monitoreo-ambiental/#gsc.tab=0>
- SESLab. (2022). *Especialización en Sistemas Fotovoltaicos*. Recuperado de <https://seslab.org/fotovoltaico/index.html>
- IDEAM. (2022). *Generalidades de la Radiación Ultravioleta*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta>
- OMS (2023). *Radiación ultravioleta*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>
- Meteo N. (2022). *Radiación ultravioleta*. Recuperado de http://meteo.navarra.es/definiciones/radiacion_ultravioleta.cfm
- CDC en Español. (2022). *Radiación UV - Especiales CDC*. Recuperado de <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radiacionuv/index.html>
- HPDRONES. (2021). *Waypoints DJI - Drones Consumer*. Recuperado de <https://hp-drones.com/waypoints-dji-drones-consumer/>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Protección contra la radiación ultravioleta*. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/radiation-ultraviolet-\(uv\)-protection](https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/radiation-ultraviolet-(uv)-protection)
- Molina, A., Rodríguez, B., & González, C. (2020). Sistema de monitoreo de radiación ultravioleta. *Revista Tecnológica-Electrónica*, 23(1), 17-24.

- García, E., Martínez, L., & Pérez, R. (2021). Tecnología para el monitoreo de radiación ultravioleta en tiempo real. *Revista Científica Tecnológica*, 3(1), 12-19.
- López, M., Sánchez, J., & Gómez, R. (2021). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de radiación ultravioleta en un campus universitario. *Revista de Investigación Tecnológica*, 9(2), 67-74.
- Primicias Ec. (2022). *Alerta por radiación UV alta y calor extremo en Ecuador*. Recuperado de <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/alerta-radiacion-alto-calor-ecuador/>
- BBC News Mundo. (2022). *Ecuador recibe más rayos ultravioletas*. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/01/100114_0137_ecuador_ozono
- US EPA. (2020). *Efectos de la radiación UV en la salud*. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-de-la-radiacion-uv-en-la-salud>
- El Comercio. (2020). *Radiación UV se mantendrá en nivel muy alto en la Sierra*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/radiacionuv-nivel-muy-alto-sierra-29-mayo.html>
- Silva, A., & Fernandes, J. (2017). *An IoT-Based System for UV Radiation Monitoring*. In Proceedings of the 2017 International Conference on Internet of Things (pp. 89-94). IEEE.
- Martínez, R., García, M., & Paredes, L. (2018). *Design of a UV Radiation Monitoring System Based on IoT*. In Proceedings of the 2018 International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence (pp. 33-37). ACM.
- Torres, F., Ruiz, M., & López, I. (2019). *Development of an IoT-Based UV Monitoring System for Outdoor Environments*. *Sensors*, 19(24), 5482.
- García, J., Rodríguez, N., & Morales, P. (2020). *Design and Implementation of an IoT-Based UV Monitoring System for Smart Cities*. In Proceedings of the 2020 International Conference on Smart Cities, Systems, Devices and Technologies (pp. 8-13). IARIA.
- Sánchez, A., García, L., & Martínez, C. (2018). *IoT-Based UV Monitoring System for Agricultural Applications*. In Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC) (pp. 15-20). IEEE.
- Rodríguez, D., Pérez, G., & Ramírez, M. (2019). *IoT-Based UV Monitoring System for Public Health*. In Proceedings of the 2019 International Congress on Internet of Things (pp. 1-5). IEEE.
- Bernhard, G.H. et al. (2020). *Efectos ambientales del agotamiento del ozono estratosférico, la radiación UV y las interacciones con el cambio climático*. Panel de Evaluación de Efectos Ambientales del PNUMA, Actualización 2019. *Ciencias Fotoquímicas y Fotobiológicas* 19, n.º 5: 542–84. <https://doi.org/10.1039/D0PP90011G>.

Chubarova, N.E. et al. (2020). *Efectos del ozono y las nubes sobre la variabilidad temporal de la radiación UV superficial y los recursos UV sobre Eurasia septentrional derivados de mediciones y modelos*. *Atmósfera* 11, n.º 1: 59. <https://doi.org/10.3390/atmos11010059>.

DWD. (2015). *El Índice Global Solar UV y los Efectos en la Salud de la Exposición UV*. Recomendación 2006/647/CE de la Comisión Europea, de 22 de septiembre de 2006, sobre la eficacia de los productos de protección solar y las alegaciones al respecto.

Fountoulakis, I. et al (2019). *Radiación solar UV en un clima cambiante: Tendencias en Europa y la importancia del monitoreo espectral*. *Ambientes* 7, recuperado de <https://doi.org/10.3390/environments7010001>.

ForSea, A. M. (2020) *Epidemiología del melanoma y detección temprana en Europa: Diversidad y disparidades*. *Dermatología Práctica y Conceptual*: e2020033. <https://doi.org/10.5826/dpc.1003a33>.

ANEXOS

7.1. ANEXO 1 – Encuesta

ENCUESTA – PROYECTO DE TITULACIÓN

“PROTOTIPO DE MONITOREO DE RADIACIÓN UV MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS AUTOMATIZADAS EN UN DRON PARA EL CAMPUS “GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA” DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”

PREGUNTAS

- 1. ¿Qué tan consciente está sobre los riesgos asociados con la exposición a la radiación UV?**
Muy Consciente ()
Consciente ()
Poco Consciente ()
No Consciente ()
- 2. ¿Cree que es necesario un sistema de alerta de los niveles de radiación UV?**
Sí ()
No ()
- 3. ¿Le gustaría recibir alertas en tiempo real de los niveles de radiación UV presentes en su zona?**
Sí ()
No ()
- 4. ¿Cree que es de mayor prioridad destinar el sistema de alerta de los niveles de radiación UV a estudiantes que realizan actividades de campo abierto?**
Sí ()
No ()

5. ¿Ha sufrido quemaduras o irritaciones en la piel debido a la exposición directa y prolongada al sol en alguna ocasión?

Sí ()

No ()

<https://forms.office.com/r/ZbCfRiCs6g>

7.2. ANEXO 2 – Tabulación de la encuesta

PREGUNTA 1 - ¿Qué tan consciente está sobre los riesgos asociados con la exposición a la radiación UV?

Figura

Gráfico del porcentaje de la Pregunta 1

● Muy Consciente	11
● Consciente	15
● Poco Consciente	40
● No Consciente	10

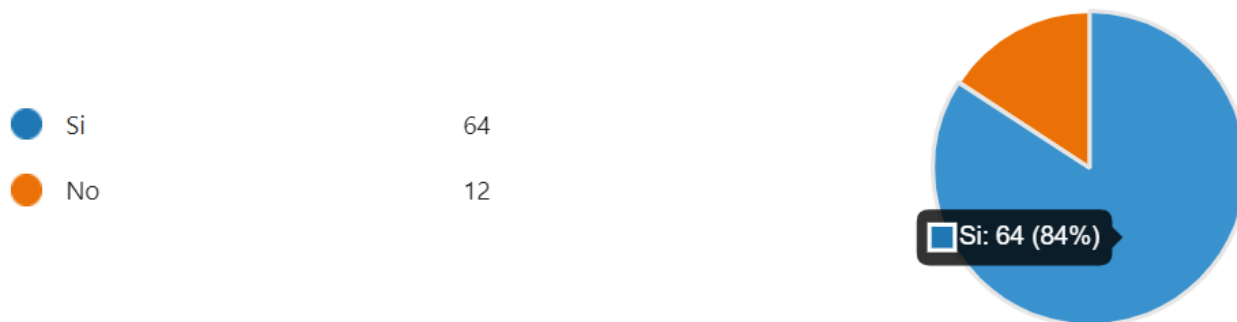


El resultado de la encuesta revela que el 53% de los estudiantes se consideran poco conscientes de los riesgos asociados con la exposición a la radiación UV. Esto destaca la necesidad de implementar un sistema que informe sobre los niveles de radiación UV y concientice acerca de los riesgos y complicaciones relacionados.

PREGUNTA 2 - ¿Cree que es necesario un sistema de alerta de los niveles de radiación UV?

Figura

Gráfico del porcentaje de la Pregunta 2

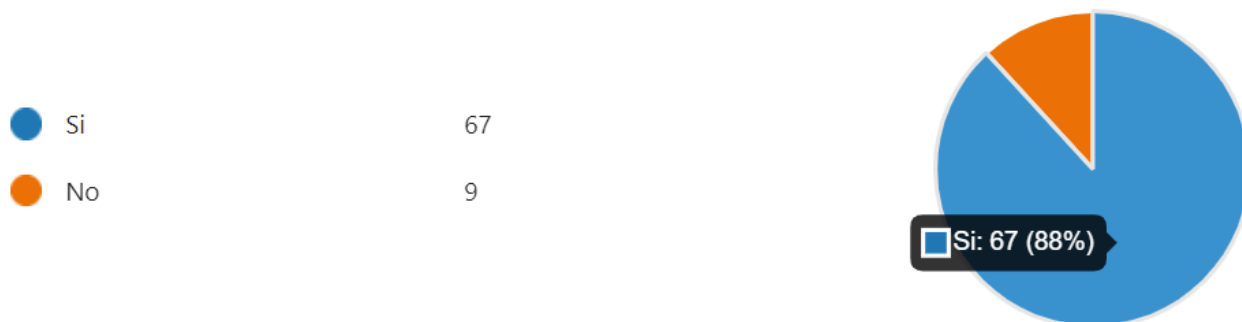


Los resultados de la encuesta indican que el 84% de los estudiantes están a favor de la implementación de un sistema de alerta para los niveles de radiación UV. Esto resalta la importancia y viabilidad de establecer un sistema de monitoreo de radiación UV, capaz de proporcionar información precisa sobre los niveles de exposición.

PREGUNTA 3 - ¿Le gustaría recibir alertas en tiempo real de los niveles de radiación UV presentes en su zona?

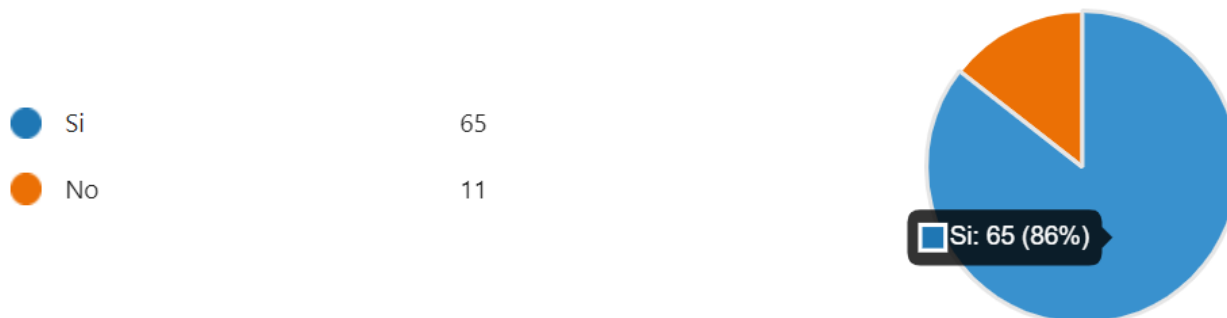
Figura

Gráfico del porcentaje de la Pregunta 3



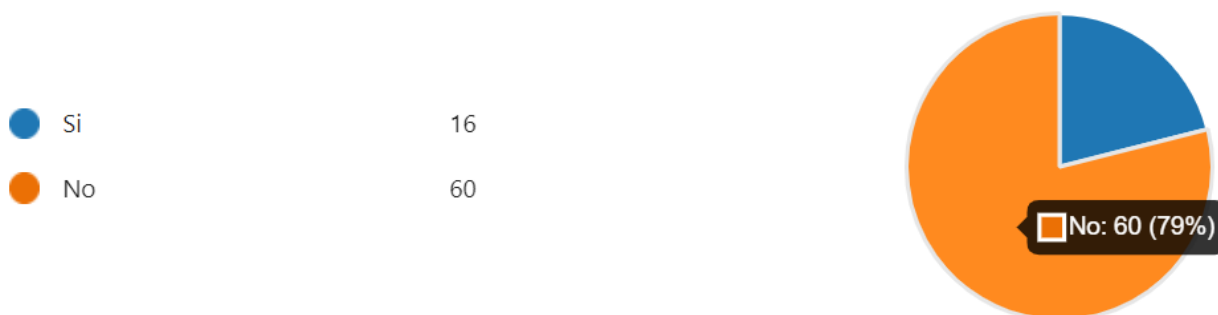
El resultado de la encuesta revela que el 88% de los encuestados expresaron su interés en recibir alertas en tiempo real sobre los niveles de radiación UV en su área. Esto destaca la importancia de que el sistema proporcione datos actualizados al momento para que los estudiantes puedan tomar medidas y acciones.

PREGUNTA 4 - ¿Cree que es de mayor prioridad destinar el sistema de alerta de los niveles de radiación UV a estudiantes que realizan actividades de campo abierto?

Figura*Gráfico del porcentaje de la Pregunta 4*

El resultado de la encuesta muestra que el 86% de los encuestados considera prioritario destinar el sistema de alerta de niveles de radiación UV a estudiantes que participan en actividades al aire libre. Esto sugiere la importancia de implementar el prototipo en áreas donde los estudiantes llevan a cabo laboratorios y prácticas en campo abierto.

PREGUNTA 5 - ¿Ha sufrido quemaduras o irritaciones en la piel debido a la exposición directa y prolongada al sol en alguna ocasión?

Figura*Gráfico del porcentaje de la Pregunta 5*

El resultado de la encuesta indica que el 79% de los encuestados no ha experimentado quemaduras o irritaciones en la piel debido a la exposición prolongada al sol en algún momento. Esto resalta la necesidad de concienciar a estos estudiantes sobre las posibles consecuencias de la exposición prolongada al sol mediante la implementación del sistema de alerta.

7.3. ANEXO 3 – Código nodo recolector

```

#include <Arduino.h>
#include "LTR390.h"
#include <WiFi.h>
#include <FirebaseESP32.h>

//Definición de variables para conexión Wi-Fi
#define EAP_IDENTITY "eamenesesp@utn.edu.ec" // Correo institucional
#define EAP_USERNAME "eamenesesp@utn.edu.ec" // Correo institucional
#define EAP_PASSWORD "A7*****S-" // Contraseña para acceso a red Eduaroam
const char* ssid = "eduroam"; // Eduroam SSID
int counter = 0; // Contador inicializado en cero
para manejar reconexión de la placa

//Definición de variables para conexión con la base de datos
#define DATABASE_URL "https://esp32-bb92f-default-rtdb.firebaseio.com/" // URL
de base de datos
#define DATABASE_SECRET "QnuWGWe99GdZtKPJyXW2sUYSBLC9VkXhgX8WxOfZ" // Token
o clave secreta de base de datos

//Definición de objetos para Firebase
FirebaseData tesisuv; // Datos
FirebaseAuth auth; // Autenticación
FirebaseConfig config; // Configuración
int valorUV; // Variable que contendrá el valor del sensor UV

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  // Conexión a Wi-Fi
  Serial.print("Conectando a la red: ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.disconnect(true); // Desconexión de Wi-Fi para establecer una nueva
conexión
  WiFi.mode(WIFI_STA); // Establece el Wi-Fi de la placa en modo estación

  WiFi.begin(ssid, WPA2_AUTH_PEAP, EAP_IDENTITY, EAP_USERNAME,
EAP_PASSWORD); // Inicialización de Wi-Fi

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    counter++;
  }
}

```

```

    if(counter>=60){
        ESP.restart();    // Reinicia la placa si no hay conexión en 30 segundos
    }
}
Serial.println("");
Serial.println("WiFi conectado");
Serial.println("Direccion IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());    //Imprime dirección IP asignada

    config.database_url =
DATABASE_URL;    // Configuración de
Firebase
    config.signer.tokens.legacy_token =
DATABASE_SECRET;    // Autenticación de Firebase
    tesisuv.setBSSLBufferSize(8192 /* Rx buffer size */, 8192 /* Tx buffer size
*/);    // Configuración del tamaño del búfer SSL
    Firebase.begin(&config,
&auth);    // Inicialización de
Firebase

    // Inicialización del sensor UV
    if (LTR390_Init() != 0)
    {
        Serial.print("Error al iniciar el sensor UV");
        while (1);
    }
}
void loop()
{
    // Lectura del valor UV
    valorUV = LTR390_UVS();    // Guarda el valor registrado
por el sensor UV en la variable 'valorUV'
    Serial.print("Nivel de radiación UV = ");
    Serial.println(valorUV);
    delay(500);

    // Actualizar el valor en la base de datos de Firebase
    Firebase.setInt(tesisuv, "/Sensores/Sensor_UV", valorUV/100);    // Ruta o
ubicación donde se enviará el valor
}

```