

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INFORMÁTICA Y DE
SISTEMAS**



TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA IOT PARA
LA ALERTA EN TIEMPO REAL A LA EXPOSICIÓN DE
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

PRESENTADO POR:

BR. JOSE ANGEL YAÑEZ TUERO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INFORMÁTICO Y DE SISTEMAS**

ASESOR:

MTR. JOSE MAURO PILLCO QUISPE

CUSCO - PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Diseño e implementación de un sistema IoT para la alerta en tiempo real a la exposición de radiación ultravioleta

Presentado por: Jose Angel Yañez Tuero DNI N° 76952705

presentado por: DNI N°:

Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniería Informático y de Sistemas

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 27 de Junio de 2025


Firma

Post firma JOSE MAURO PILLCO QUIPE

Nro. de DNI 23861067

ORCID del Asesor 0000 - 0002 - 0527 - 089X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:468550888

JOSE ANGEL YANEZ TUERO

tesisUV16junio.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:468550888

Fecha de entrega

20 jun 2025, 11:33 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

25 jun 2025, 11:06 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

tesisUV16junio.pdf

Tamaño de archivo

9.8 MB

115 Páginas

22.242 Palabras

119.177 Caracteres

4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

*A mis padres y a mi hermano, por todo lo que significan para mí;
con mucho amor y gratitud.*

Agradecimientos

Doy las gracias a todas las personas que mostraron su inmenso apoyo en la realización del presente proyecto.

Quiero expresar mi enorme agradecimiento a mi asesor, por su gran paciencia y por toda su orientación profesional para hacer posible el desarrollo del proyecto.

Quiero agradecer a mi padre, porque siempre estuvo presente, con sus consejos, su guía y toda la atención durante el proceso.

Finalmente quiero agradecer a todas las amistades que mostraron su interés, por todos los ánimos que me brindaron para realizar este proyecto.

Resumen

La radiación ultravioleta (UV) tiene un impacto significativo en los seres vivos: contribuye a la síntesis de vitamina D y afecta la fotosíntesis en las plantas. Sin embargo, en niveles elevados, puede causar daños en la piel humana, como quemaduras y, en casos extremos, cáncer. En algunas regiones, la exposición a niveles críticos de radiación UV representa un riesgo considerable para la población.

Actualmente, aunque existen herramientas para conocer los niveles de radiación UV, no se cuenta con un sistema que notifique en tiempo real cuando estos sean peligrosos. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de alerta en tiempo real para la exposición a radiación UV.

El sistema consta de cuatro componentes principales: el dispositivo embebido, la interfaz visual, el servidor backend y los dispositivos móviles cliente. El dispositivo embebido incorpora un microcontrolador equipado con un sensor especializado para medir los niveles de radiación UV y calcular el Índice de Radiación Ultravioleta (IUV). Este valor se envía a la interfaz visual mediante Bluetooth de baja energía (BLE). La interfaz visual muestra la información al usuario, envía los datos al sistema backend y genera notificaciones. El sistema backend almacena la información en una base de datos y envía alertas a los dispositivos móviles cliente, que finalmente presentan la información y notificaciones en tiempo real a los usuarios.

Palabras clave: Radiación ultravioleta, Internet de las cosas, Alerta en tiempo real, Sistema Embebido, Robótica.

Abstract

Ultraviolet (UV) radiation has a significant impact on living organisms: it contributes to vitamin D synthesis and affects photosynthesis in plants. However, at elevated levels, it can cause damage to human skin, such as burns and, in extreme cases, cancer. In some regions, exposure to critical levels of UV radiation poses a considerable risk to the population.

Currently, although there are tools to monitor UV radiation levels, there is no system that provides real-time notifications when these levels become hazardous. Therefore, the objective of this research was to design and implement a real-time alert system for UV radiation exposure.

The system consists of four main components: the embedded device, the visual interface, the backend server, and the client mobile devices. The embedded device includes a microcontroller equipped with a specialized sensor to measure UV radiation levels and calculate the Ultraviolet Index (UVI). This value is sent to the visual interface via Bluetooth Low Energy (BLE). The visual interface displays the information to the user, sends the data to the backend system, and generates notifications. The backend system stores the information in a database and sends alerts to the client mobile devices, which then present the information and notifications in real-time to the users.

Keywords: Ultraviolet radiation, Internet of Things, Real-time alert, Embedded system, Robotics.

Índice general

1. Aspectos Generales	1
1.1. Problema de Investigación	1
1.1.1. Descripción del Problema	1
1.1.2. Formulación del Problema	3
1.2. Antecedentes	4
1.3. Justificación	7
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo General	8
1.4.2. Objetivos Específicos	8
1.5. Delimitación de la Investigación	8
1.5.1. Alcance de la Investigación	8
1.5.2. Limitaciones	9
1.6. Metodología de la Investigación	9
2. Marco teórico	12
2.1. Radiación ultravioleta	12
2.1.1. Radiación	12
2.1.2. Espectro Electromagnético	13
2.1.3. Radiación Ultravioleta	13
2.1.4. Geometría solar	14
2.1.5. Capa De Ozono	17
2.1.6. Factores Que Influyen En La Intensidad De Radiación Ultravioleta	18
2.1.7. Efectos de la radiación ultravioleta en la salud humana	20
2.1.8. Metodologías Para La Prevención De Exposición A Radiación Ul- travioleta	23

2.1.9.	Índice De Radiación Ultravioleta	25
2.1.10.	Clasificación Fitzpatrick	27
2.2.	Software e Ingeniería del Software	28
2.2.1.	Software	28
2.2.2.	Requerimientos funcionales del software	29
2.2.3.	Requerimientos no funcionales del software	29
2.2.4.	Ingeniería de Software	29
2.2.5.	Proceso de Desarrollo de Software	30
2.2.6.	Proceso de Desarrollo Ágil	31
2.2.7.	Metodología SCRUM	31
2.3.	Aplicaciones móviles	34
2.3.1.	Dispositivo móvil	34
2.3.2.	Sistemas operativos móviles	34
2.3.3.	Android	35
2.3.4.	SDK	35
2.3.5.	Flutter	36
2.3.6.	Aplicaciones Nativas Multiplataforma	36
2.4.	Internet de las cosas	37
2.4.1.	Sensores y actuadores	37
2.4.2.	Microcontroladores	37
2.4.3.	API	38
2.4.4.	Sistema en tiempo real	39
2.4.5.	Protocolos de comunicación	39
2.4.6.	Arquitectura IoT	40
2.4.7.	Firebase	41
3.	Desarrollo del Proyecto	43
3.1.	Visión del Proyecto	43
3.1.1.	Definición del Producto	43
3.1.2.	Identificación de Roles	47
3.1.3.	Pila del producto (Product Backlog)	47
3.1.4.	Plan de Lanzamiento	48
3.1.5.	Características del software	49

3.2. Primer Sprint	49
3.2.1. Sprint Planning	49
3.2.2. Sprint Backlog	50
3.2.3. Sprint Execution	52
3.2.4. Sprint Review	58
3.3. Segundo Sprint	59
3.3.1. Sprint Planning	59
3.3.2. Sprint Backlog	59
3.3.3. Sprint Execution	63
3.3.4. Sprint Review	75
3.4. Tercer Sprint	76
3.4.1. Sprint Planning	76
3.4.2. Sprint Backlog	76
3.4.3. Sprint Execution	79
3.4.4. Sprint Review	86
4. Resultados y análisis	87
4.1. Resultado del Proyecto	87
Conclusiones	95
Recomendaciones	96
Anexos	97
Referencias	102

Índice de figuras

2.1. Espectro electromagnético	13
2.2. Movimiento de traslación de la Tierra	15
2.3. Incidencia de rayos solares en base a la declinación solar	15
2.4. Paralelos de la Tierra	16
2.5. Meridianos de la Tierra	16
2.6. Extensión del agujero de ozono en el hemisferio sur, de 1979 a 2022 . . .	18
2.7. Ejemplos de quemadura solar producida por la radiación ultravioleta . . .	20
2.8. Ejemplo de Fotoenvejecimiento por radiación ultravioleta	21
2.9. Diagrama de actividades del Software de gestión	32
2.10. Placa de desarrollo para el ESP32 (WROOM-32)	38
3.1. Arquitectura del sistema	44
3.2. Flujo del sistema	45
3.3. Diagrama de componentes del Dispositivo embebido	53
3.4. Diagrama de actividades del Dispositivo embebido	54
3.5. Diagrama de componentes del Software de gestión	55
3.6. Diagrama de actividades del Software de gestión	56
3.7. Diagrama de secuencia del sistema	57
3.8. Diagrama de actividades del Sistema backend	58
3.9. Esquema electrónico del circuito para el Dispositivo embebido	63
3.10. Pruebas de funcionamiento en la placa de pruebas	64
3.11. Diseño de la placa del módulo de seguidor solar	65
3.12. Diseño de la placa del Dispositivo embebido	65
3.13. Construcción de módulo seguidor solar	66
3.14. Impresión de placa en lámina de cobre	66

3.15. Diseño de la vista de interfaz de usuario principal	68
3.16. Configuración base de datos en Firebase	69
3.17. Creación de base de datos en Firebase	70
3.18. Definición de reglas de base de datos en Firebase	70
3.19. Vista principal inicial del Software de gestión	71
3.20. Vistas de conexión a Bluetooth del Software de gestión	72
3.21. Código para conexión BLE del Software de gestión	73
3.22. Información almacenada en la base de datos	75
3.23. Diagrama de componentes para el Sistema móvil cliente	79
3.24. Diagrama de actividades para el Sistema móvil cliente	80
3.25. Diagrama de secuencia para el Sistema móvil cliente	81
3.26. Diseño de vistas del Sistema móvil cliente	81
3.27. Construcción de la vista principal del Sistema móvil cliente	82
3.28. Construcción del componente para mostrar el índice UV	83
3.29. Construcción del componente para mostrar historial de lecturas UV	83
3.30. Cloud Function en el Sistema backend	84
3.31. Vista de medidas de prevención	85
3.32. Vistas de fototipo de piel	86
4.1. Pruebas de funcionamiento del sistema	88
4.2. Página de información del Índice UV del SENAMHI	89
4.3. Gráfica de líneas para las lecturas del sistema y el Observatorio Meteorológico	89
4.4. Limpieza de datos atípicos	90
4.5. Promedio de lecturas del Índice UV	91
4.6. Promedio de lecturas del Índice UV luego de calibración	92
4.7. Funcionamiento del sistema	93
4.8. Generación de alerta mediante notificación	94

Capítulo 1

Aspectos Generales

1.1 Problema de Investigación

1.1.1 Descripción del Problema

La radiación solar que llega a la superficie terrestre está compuesta de radiación infrarroja, luz visible y ultravioleta (UV), entre otras; la ultravioleta representa aproximadamente un 7 % del espectro solar y ejerce un impacto diverso sobre los seres vivos. En cantidades reducidas, la radiación ultravioleta es beneficiosa para la piel humana, ya que contribuye en la síntesis de proteína D; también ayuda en el proceso de fotosíntesis en las plantas (Bohórquez-Ballén y Pérez Mogollón, 2007). Sin embargo, cuando la cantidad de radiación UV es muy elevada, ésta genera problemas que afectan a la piel; los rayos ultravioleta, al poder penetrar tanto en la epidermis como en la dermis, produce quemaduras o incluso puede conllevar a la generación de cáncer (González-Púmariega, Tamayo, y Sánchez-Lamar, 2009); en el nivel ocular, puede llevar a la formación de cataratas y en el peor de los casos, a la pérdida de la visión.

Debido a que la radiación ultravioleta tiene un importante impacto en la salud de las personas, la Organización Mundial de la Salud, así como los respectivos ministerios de salud en cada país, proponen diferentes recomendaciones (Organizacion mundial de la salud, 2003): limitar el tiempo de exposición al sol, hacer uso de filtros solares, uso de prendas protectoras (sombreros, gafas), evitar camas de bronceado, protección a los niños, entre otras. Una medida de protección de suma importancia, es la educación de las personas con respecto a las medidas de fotoprotección, como conocer su tipo de piel

(fototipo de piel), auto observación de la piel para una detección temprana de lesiones pigmentarias o aparición de tumores de pequeño tamaño. Con el fin de informar a la población acerca de la repercusión de la radiación ultravioleta, diferentes organizaciones o ministerios ponen en práctica diversas campañas de prevención. Actualmente existe el Índice de Radiación Ultravioleta (IUV), medida estándar ampliamente aceptada, empleada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Entre los países que registran mayores niveles en su radiación solar, Perú registra uno de los niveles más altos a nivel mundial (Quiñones, 2024). En el Perú, el organismo responsable del monitoreo de la radiación ultravioleta es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI); según éste, en los últimos años, los niveles de radiación ultravioleta en el país se incrementaron a niveles superiores a 11, los cuales son catalogados como niveles excepcionalmente altos para la salud de las personas (llegando hasta 18 en la región Andina) (SENAMHI, 2018). Según el Observatorio Global del Cáncer en su reporte del 2020, en el Perú se registran cada año 1 282 casos de cáncer de piel de tipo *melanoma*, de las cuales 364 fallecen padeciendo este tipo de cáncer (Observatorio Global del Cáncer, 2020). En la región Cusco, el Índice de Radiación Ultravioleta llega a valores entre 10 y 14 en horas de mayor intensidad (de 12:00 a 13:00 horas), los cuales son extremadamente altos para la salud (Pinares Gamarra, 2022). Para poder solucionar este problema, el Ministerio de Salud del Perú realiza campañas de prevención para educar y fomentar sobre la importancia de la protección contra la radiación ultravioleta; también implementó en 2013 la ley N° 30102, que impone realizar medidas de prevención de la radiación ultravioleta a las entidades públicas y privadas. Sin embargo; las medidas dispuestas actualmente son insuficientes para poder combatir el problema, ya que no se implementan y la radiación en el Perú es muy alta y se encuentra en aumento.

Ante el aumento de los niveles de radiación ultravioleta, la medida más eficiente de prevención es la de evitar la exposición directa al Sol en los horarios donde la radiación es mayor, que suelen encontrarse en el intervalo de 10:00 hrs a 14:00 hrs del día; siendo necesario que las personas cuenten con lugares con sombra para poder protegerse. De esta forma, surge la necesidad de contar con un sistema de prevención que alerte a la población de forma inmediata ante momentos en donde la radiación ultravioleta sea muy elevada.

1.1.2 Formulación del Problema

Debido al incremento de la radiación ultravioleta y el gran impacto que genera en la salud de las personas, algunos gobiernos como empresas implementan dispositivos para prevención de la radiación. Entre las herramientas más comunes para solucionar esta problemática, se encuentran los denominados *solmáforos*, módulos cuya forma de comunicación es visual, mediante paneles; sin embargo, estos dispositivos son costosos ¹. Otras herramientas lo constituyen las aplicaciones móviles que generalmente presentan predicciones del Índice de Radiación Ultravioleta. A nivel de trabajos de investigación se ha encontrado prototipos que monitorean el Índice de Radiación Ultravioleta cuyos datos son registrados en una base de datos, los que serían usados para predicciones visualizadas mediante aplicaciones móviles o de escritorio (notándose que todos los prototipos revisados cuentan con el módulo sensor UV fijo).

Problema General

¿Puede el diseño e implementación de un sistema IoT solucionar la falta de registro y comunicación sobre Índice de Radiación Ultravioleta a la población y lograr la alerta en tiempo real a las personas, en las diferentes regiones geográficas?

Problemas Específicos

- ¿Es posible realizar una lectura de la radiación ultravioleta mediante la implementación de un dispositivo embebido?
- ¿Puede realizarse una comunicación en tiempo real entre los componentes del sistema IoT?
- ¿Es posible implementar una alerta en tiempo real ante los elevados niveles de radiación ultravioleta?

¹Se pueden apreciar algunos costos en el Cuadro 4.1, en la sección Anexos

1.2 Antecedentes

Cruz Checa, J. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de la radiación ultravioleta en la ciudad de Arequipa.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

En este proyecto de investigación se construyó un dispositivo de monitoreo de la radiación ultravioleta en la ciudad de Arequipa, para luego almacenar los datos obtenidos. También se implementó una página web para mostrar la información a la población y educar sobre los cuidados y peligros frente a la radiación ultravioleta. Del proyecto, se tienen las siguientes consideraciones:

- Para la construcción del dispositivo utilizó dos sensores fijos de radiación UV (UVM30A y LM8511) y un sensor de presión atmosférica y temperatura (BMP180) para las condiciones del sistema, como microcontrolador, utilizó el Atmega2560
- Se constuyó un dispositivo con bajo presupuesto en comparación a soluciones ofrecidas por empresas
- Los datos obtenidos por el dispositivo se almacenaron en una base de datos y la información se implementó en una página web para la población (actualmente la página no se encuentra en funcionamiento)
- El autor consideró que se pueden utilizar otros sensores de medición meteorológica
- Se aprecia que el autor dispuso los sensores fijos sin considerar la trayectoria e incidencia solar. Así mismo dispuso sensores a distancias y altitudes considerables

Qispe Achahuanco, R (2023). *Sistema de medición de radiación UV en conductores de unidades vehiculares en la ciudad del Cusco sobre plataforma LoRa.* Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En esta investigación se implementó un sistema de monitoreo de radiación ultravioleta y temperatura en el interior unidades vehiculares para la ciudad del Cusco utilizando la tecnología LoRa (Long Range). Para la implementación del sistema utilizó nodos en las unidades vehiculares mediante dispositivos *TTGO T-Beam* equipados con sensores específicos para medir radiación UV , temperatura y un módulo GPS para registrar la

ubicación del vehículo; para la recepción de la información utilizó un dispositivo *RAK 7268*, el cual recibe la información de los nodos vehiculares; finalmente utilizó una base de datos para la recolección de información. También utilizó una plataforma en tiempo real para la visualización de los datos. De esta investigación se menciona lo siguiente:

- Se debe definir la arquitectura del sistema enfocándolo a la solución de la investigación, considerando los componentes y protocolos que se utilizará
- Para calcular el error del sensor de índice UV, utilizó como referencia la información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
- Se menciona que los valores medidos por el sensor de índice UV son afectados por el cristal de los parabrisas en las unidades vehiculares
- EL sistema implementado realiza un monitoreo en tiempo real utilizando una plataforma IoT, pero este no realiza alerta en tiempo real al usuario final

Quispe Huamán, W., Vargas Poma. T. (2019) Sistema Inalámbrico Móvil de Monitoreo Remoto de la Radiación Ultravioleta Solar para la Prevención de Daños por Eritema en la Piel de las Personas en el Distrito de Pampas

En el presente proyecto de investigación se implementó un sistema móvil de monitoreo remoto y prevención de la radiación ultravioleta, el cual se compone de un módulo para leer la radiación ultravioleta mediante un sensor UV, que se colocó en un dispositivo dron; los datos leídos se almacenan en una base de datos y la información es proporcionada a los usuarios mediante un aplicativo móvil, del proyecto se tomaron las siguientes consideraciones:

- Para la construcción del dispositivo, el autor utilizó el microcontrolador ESP8266, además, utilizó el módulo SIM800L para el envío de mensajes de texto
- El el proyecto se menciona como limitante la posición horizontal en las que se colocaron los sensores UV, al no considerar la trayectoria e incidencia solar

- Se utilizó un dispositivo dron para realizar las mediciones de la radiación en diferentes puntos de una región, por lo que es necesario contar con un personal calificado para la manipulación; el sistema solo funciona mientras el dron está activo
- El sistema implementa alertas de prevención a los usuarios mediante mensajes de texto, el cual puede incluir costos económicos: es posible implementar otros medios para realizar notificaciones a los usuarios

Jaya Guerrero, A. (2024) Diseño e implementación de un sistema automático de detección de niveles de radiación UV basado en arquitectura embebida en la Universidad Politécnica Salesiana-Campus El Girón

El proyecto concluye con el desarrollo e implementación de un sistema automatizado para la medición de radiación UV, destinado a informar y prevenir riesgos en la comunidad universitaria. El dispositivo denominado “solmáforo” constituye de un sistema de información visual mediante la implementación de un dispositivo embebido.

Villagómez Pesántez, J. (2019) Sistema de monitoreo y alerta de radiación solar UV

La presente investigación propone el diseño de un sistema de monitoreo y alerta de radiación UV sustentado en metodologías de gestión de proyectos. La planificación detallada, la estructura de trabajo, la gestión de riesgos y el aseguramiento de calidad convierten a este trabajo en una guía técnica y metodológica útil para la ejecución de proyectos reales.

Adnin Tazrih, N. (2022). Wearable UV Detector for Real Time UV Index Monitoring

La investigación culmina con el desarrollo exitoso de un dispositivo portátil capaz de monitorear en tiempo real el índice de radiación ultravioleta (UV), integrando sensores nanométricos de ZnO y comunicación Bluetooth con una aplicación móvil

1.3 Justificación

La radiación ultravioleta tiene un importante impacto en la salud de la población, y debido a su progresivo aumento en su intensidad, es imperante tomar medidas de prevención para poder mitigar en las personas la exposición a la radiación ultravioleta, ya que los periodos de exposición constituyen el factor más importante que tiene consecuencias en la salud.

La aplicación de tecnologías como el Internet de las Cosas y los Sistemas Embebidos en la creación de herramientas destinadas a prevenir la exposición a la radiación ultravioleta reviste una importancia significativa en la actualidad. Estos avances tecnológicos posibilitan el desarrollo de dispositivos inteligentes capaces de medir con precisión los niveles de radiación ultravioleta en tiempo real.

La implementación de un mecanismo de prevención presenta muchos desafíos, tanto técnicos como económicos. Se tiene la necesidad de contar con un dispositivo, cuyo software específico permita alertar en tiempo real a la persona sobre los periodos de exposición a la radiación ultravioleta, que es el dato de mayor importancia para lograr prevenir sobre los futuros daños; además, el dispositivo sea eficiente en términos de consumo de energía, bajo en costo y configurado para ser instalado en diferentes regiones geográficas.

Actualmente, existen diversas plataformas en internet que proporcionan información sobre la radiación ultravioleta segmentada por regiones. Sin embargo, estas plataformas generan la información basándose en modelos y estimaciones que consideran condiciones climáticas ideales, como cielos despejados y ubicaciones rurales (Alfaro, L., 2016); además, los datos proporcionados no se muestran en tiempo real, sino que se actualizan en intervalos de tiempo (generalmente 12 horas). Debido a esto, la información proporcionada por las plataformas no reflejan con precisión las condiciones locales específicas en un momento dado.

Nuestra propuesta de implementación del sistema permitirá que la población pueda ser alertada (de diferentes maneras) en tiempo real; en los momentos en donde los periodos de radiación ultravioleta sea peligrosa; esto hará posible que los usuarios del sistema puedan tomar las medidas de prevención correspondientes. Los usuarios también podrán recibir información educativa sobre la radiación ultravioleta. Además, los registros obtenidos sobre la radiación ultravioleta serán almacenados en una base de datos,

para que pueda servir como una base de información para posterior monitoreo a cargo de instituciones o empresas. En la práctica, este sistema será una herramienta integral de fácil acceso y uso a las personas para protegerse contra la radiación ultravioleta.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema IoT para la alerta en tiempo real de la exposición a la radiación ultravioleta.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar y construir un dispositivo embebido con sensor de radiación ultravioleta
- Diseñar e implementar un sistema de comunicación IoT para la transmisión de datos en tiempo real
- Desarrollar un sistema de alerta en tiempo real ante niveles peligrosos de radiación ultravioleta

1.5 Delimitación de la Investigación

1.5.1 Alcance de la Investigación

Se desarrollará un dispositivo que constará de un módulo rastreador solar, que seguirá la luz del sol para que el sensor UV pueda medir la radiación con mayor fiabilidad; lo que permite ser instalado en cualquier ubicación geográfica. El sistema constará de una pantalla para dar información y alerta a los usuarios cercanos al dispositivo, así como un módulo para alertar mediante audio, en tiempo real. Además, se desarrollará una aplicación móvil para que los usuarios puedan recibir información de el índice UV. El dispositivo almacenará la información recopilada y notificará a los usuarios mediante una alerta en tiempo real cuando la radiación registrada sea peligrosa. El sistema también proporcionará información educativa sobre la radiación ultravioleta.

1.5.2 Limitaciones

El presente proyecto se encuentra limitado por las siguientes condiciones:

- El sensor ultravioleta del sistema tiene un margen de error asociado (en términos de la salida de voltaje), por lo que la medida real de radiación solar podría diferir ligeramente de valor medido por el sistema (se tiene una precisión de ± 1 IUUV para las especificaciones del sensor utilizado). Para reducir el margen de error se procede a la calibración de los sensores mediante software
- El sistema requiere de una conexión a internet estable para el envío y lectura de las lecturas a la base de datos

1.6 Metodología de la Investigación

Tipo de Investigación

Para el presente proyecto se utilizará una investigación de tipo aplicativo. Este tipo de investigación (Hurtado de Barrera, 2021) se diferencia porque hace uso de conocimientos adquiridos en la investigación realizada. En esta investigación se utiliza los conocimientos teóricos existentes en ingeniería del software para desarrollar una solución tecnológica que facilite la comunicación y alerta en tiempo real de los niveles de radiación ultravioleta a la población.

Metodología de Desarrollo del Software

Para el desarrollo de este sistema se utilizará la metodología ágil Scrum (se recomienda consultar la Sección 2.2.7), que permite gestionar y controlar el desarrollo de software de manera flexible y adaptable a cambios, facilitando la entrega continua de incrementos de valor al cliente. Esta metodología se apoya en la organización del trabajo en Sprints (intervalos de tiempo cortos y definidos) y en la colaboración constante entre los miembros del equipo, con reuniones clave como:

- Reunión de planificación de Sprint: donde se define el objetivo y se seleccionan las tareas a desarrollar en cada ciclo.

- Reuniones diarias (Daily Stand-ups): para el seguimiento del progreso, donde el equipo sincroniza su trabajo y se identifican bloqueos.
- Revisión del Sprint: en la que se presenta al cliente el incremento de producto desarrollado, para obtener su retroalimentación.
- Retrospectiva del Sprint: en la que el equipo reflexiona sobre el trabajo realizado en el Sprint, identificando oportunidades de mejora.

Se considera que Scrum es la metodología más adecuada debido a su enfoque en la adaptabilidad y entrega rápida de valor, ya que permite gestionar los cambios en los requisitos de manera dinámica y asegurarse de que el producto final cumpla con las expectativas del cliente. Además, fomenta una alta colaboración y comunicación entre los miembros del equipo, lo cual es crucial para el éxito de un proyecto de desarrollo de software. Esta metodología también facilita la evaluación continua del progreso y del producto en cada iteración, permitiendo ajustes oportunos y asegurando que se cumplan los objetivos en cada etapa del proyecto. Los roles de Scrum serán realizados conjuntamente por el investigador del proyecto (esto se especifica en la Sección 3.1.2).

Inicialmente se realizará una visión del proyecto, en el cual se tiene como objetivo obtener un panorama general del sistema que se va a construir para solventar la problemática; en esta etapa se describirá el sistema y sus componentes necesarios para funcionar, además, se determinarán las historias de usuario del sistema. Luego de ello se realizarán las iteraciones siguiendo el marco Scrum, se comenzará determinando un objetivo de la presente iteración; la etapa de grooming se realizará al inicio de cada sprint, junto al Sprint Planning (cabe mencionar que el grooming puede también realizarse en diferentes momentos del sprint), luego de ello se realizarán las siguientes actividades: Sprint Backlog, Sprint Execution y Sprint Review. En el Sprint Backlog se dividirán los ítems del Product Backlog en tareas, en el Sprint Execution se ejecutarán las tareas determinadas y en el Sprint Review se determinará cuál es el producto incremental construido o las metas logradas, considerando que esta debe ser la realización del objetivo del sprint.

Metodología de Desarrollo del Hardware

Para el desarrollo del hardware del sistema, se construirá el hardware del sistema en base a la metodología de diseño *Bottom-Up* (Schweers, 2002), el cual se trabajará conjuntamente con el desarrollo del software. Esta metodología de hardware permite el diseño del sistema en base a módulos que se integran conjuntamente para formar la totalidad del mismo. Para evitar los costos de prototipado se utilizarán herramientas de simulación o placas de pruebas.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Radiación ultravioleta

2.1.1 Radiación

Radiación electromagnética

Se define a la radiación electromagnética como la emisión de energía, a través del vacío o cualquier medio material, en forma de onda electromagnética o en forma de partícula (Hoyos Maddelainne, 2013).

Radiación solar

La radiación solar se refiere a la energía que se irradia desde el Sol y se propaga a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y una parte de ella llega a la atmósfera terrestre. La radiación solar que llega a la superficie terrestre consta de tres componentes (Martínez, 2016): radiación directa (que llega en línea recta desde el Sol), radiación difusa (radiación que viene de manera dispersa de diferentes direcciones) y albedo (radiación que es reflejada por la superficie terrestre).

Radiación Ionizante.

Se refieren a las ondas electromagnéticas caracterizadas por una frecuencia notablemente elevada, lo que les confiere la energía necesaria para provocar la ionización de átomos al romper sus enlaces químicos. En otras palabras, esta radiación tiene la capacidad de liberar electrones, resultando en una carga positiva para el átomo o la molécula

correspondiente. Este tipo de radiación produce daños en la estructura del ADN y en el tejido celular (González-Púmariega y cols., 2009). Los rayos X y los rayos Gamma son parte de este tipo de radiación; la radiación ultravioleta, bajo ciertas condiciones, pueden ser ionizante.

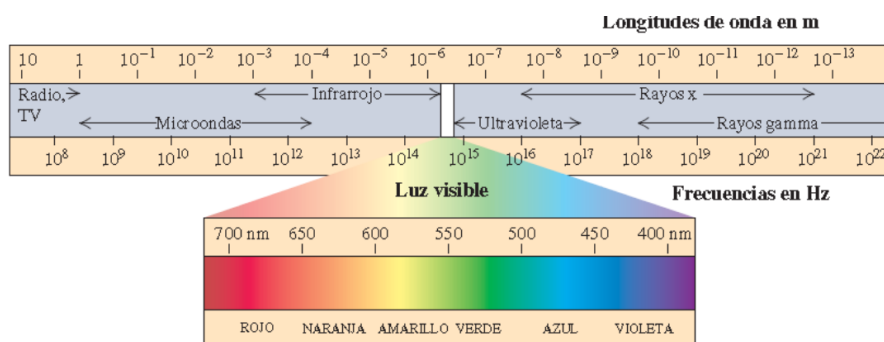
Radiación No Ionizante.

Esta radiación no es capaz de desprender electrones de los átomos o moléculas. A este tipo de radiación pertenecen aquellas que poseen frecuencias bajas, como las ondas de radio, microondas, la radiación infrarroja, la luz visible y la radiación ultravioleta (UV-A y UV-B).

2.1.2 Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es un conjunto que abarca diferentes longitudes de onda y frecuencias posibles a las que se produce radiación electromagnética (Hugh Young, 2018). Se puede apreciar en la Figura 2.1 los intervalos de longitud de onda más comúnmente conocidos. La vista humana solo es capaz de distinguir longitudes de onda aproximadamente entre 400 y 700nm, esta región es denominada *luz visible*.

Figura 2.1 Espectro electromagnético



2.1.3 Radiación Ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es la región electromagnética comprendida en una longitud de onda de 100 y 400nm. Aproximadamente un 7 % del espectro electromagnético proveniente del sol se compone de radiación UV. La región se divide en tres bandas:

Radiación UV-A

La radiación ultravioleta de tipo A (UV-A) tiene longitudes de onda de 320 a 400nm (Farrukh Afag, 2001) y logra atravesar en un 95 % la capa de ozono. Este tipo de radiación es capaz de penetrar tanto en la epidermis como en la dermis. Entre las afecciones asociadas a este tipo de radiación se tiene el curtido de la piel, suprimir algunas funciones inmunológicas y causar necrosis en las células endoteliales (González-Púmariega y cols., 2009).

Radiación UV-B

Este tipo de radiación tiene longitudes de onda de 280 a 320nm; gran parte de la radiación UV-B es absorbida por la capa de ozono, por lo que un 5 % de la radiación logra pasar a la superficie terrestre. La radiación UV-B genera afecciones como la formación de daños en el ADN de las células de la capa basal de la epidermis, lo cual puede llevar a un envejecimiento prematuro de la piel, detener el ciclo celular y aumentar el riesgo de cáncer de piel. Además, provoca la isomerización de ácido urocánico y la estimulación de ciertas actividades celulares adversas (González-Púmariega y cols., 2009).

Radiación UV-C

La radiación UV de tipo C se encuentra entre las longitudes de onda de 100 a 280nm y son filtradas en su totalidad por la capa de ozono. Este tipo de radiación es muy energética debido a su corta longitud de onda, y puede ser muy peligroso para la salud de las personas.

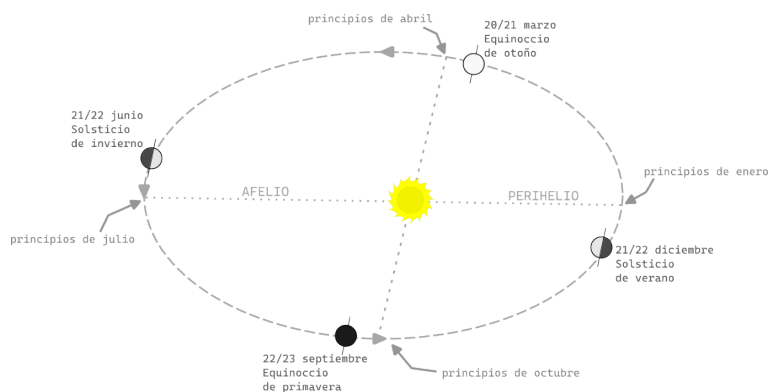
2.1.4 Geometría solar

Distancia Tierra-Sol

La Tierra realiza un desplazamiento alrededor del Sol en forma elíptica. Una elipse es una curva que cuenta con dos focos y, en este caso, el Sol se encuentra en uno de ellos; por lo que en el recorrido de la tierra habrá momentos en los que esta se encuentre más alejada o cercana al Sol (Iqbal, 1983). Como se aprecia en la Figura 2.2, cuando la Tierra se encuentra en su posición más próxima al Sol, aproximadamente a 147 millones de kilómetros, se denomina *perihelio*. Este evento sucede a principios de enero de cada año.

Por otro lado, cuando la Tierra alcanza su máxima distancia respecto al Sol, alrededor de 152 millones de kilómetros, se le conoce como *afelio*, y este acontecimiento tiene lugar a principios de julio.

Figura 2.2 Movimiento de traslación de la Tierra

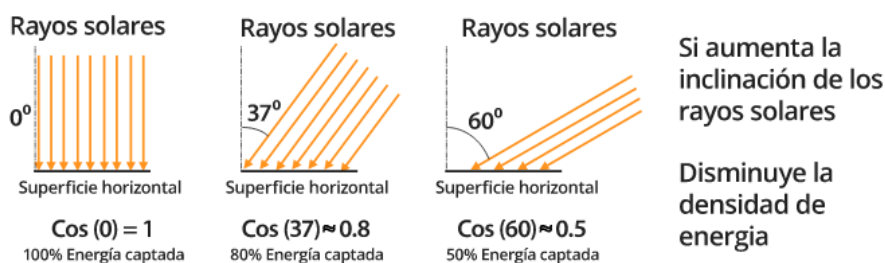


Declinación solar

La Tierra realiza un movimiento de rotación alrededor de su propio eje, también conocido como *eje de rotación* o *eje polar*. Este movimiento está inclinado aproximadamente 23.44° con respecto a la normal al plano elíptico. Se define como *declinación solar* al ángulo formado entre el plano elíptico de la Tierra y la línea que une el centro de la Tierra y el Sol, el cual cambia todos los días, llegando a su valor máximo alrededor de 21 y 22 de Junio con 23.44° y su mínimo alrededor de 21 y 22 de Diciembre con -23.44° .

Conocer el valor de este ángulo es importante, ya que los rayos solares (por tanto la radiación ultravioleta) llegan a la superficie de la Tierra formando un ángulo el cual influye en la energía (intensidad) que emiten.

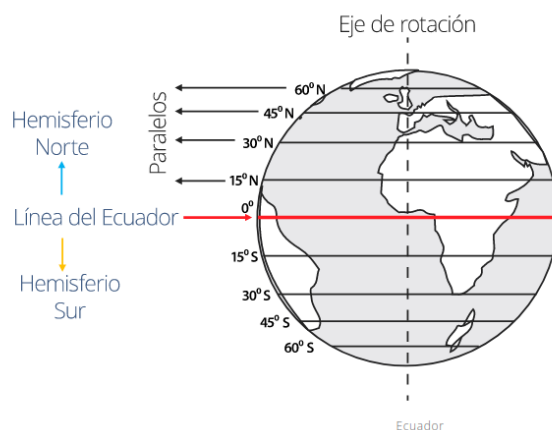
Figura 2.3 Incidencia de rayos solares en base a la declinación solar



Paralelos

Son líneas que se trazan de forma circular perpendicular al eje polar y paralelo al plano ecuatorial. Al paralelo de mayor magnitud se le conoce como *Línea del Ecuador*.

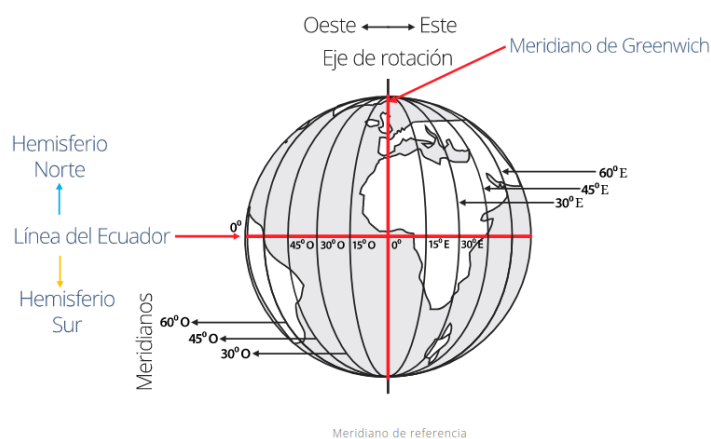
Figura 2.4 Paralelos de la Tierra



Meridianos

Son líneas que se extienden desde el Polo Norte hasta el Polo Sur de la Tierra

Figura 2.5 Meridianos de la Tierra



Latitud

Se define a la *latitud* como la distancia angular entre la Línea del Ecuador hasta el paralelo donde se encuentra el punto de interés.

Longitud

La *longitud* es el ángulo que se forma entre el meridiano de Greenwich (utilizado como el meridiano de referencia) y el meridiano en el cual se ubica el punto de interés

2.1.5 Capa De Ozono

Atmósfera Y Capa De Ozono

La atmósfera terrestre se compone en su gran mayoría de los gases de nitrógeno, oxígeno, argón y dióxido de carbono, los cuales constituyen un 99.98 % (Chorley y Barry, 2004), además, la atmósfera se componen de otros elementos como polvo, partículas de sales marinas y humo. La mayor parte de la masa de la atmósfera se encuentra concentrada en una extensión de 15 *km* (95 % del total), sin embargo, los gases se pueden mantener hasta los 80 a 100 *km*. El Ozono (O_3), que es uno de los gases de mayor importancia para la vida en la Tierra, se encuentra concentrado aproximadamente entre los 15 a 30 *km*, sin embargo, la formación de ozono se realiza aproximadamente entre los 30 y 60 *km*.

Importancia De La Capa De Ozono

Para longitudes mayores a los 35 *km*, la radiación ultravioleta genera rupturas en las moléculas de oxígeno (80 a 100 *km* aproximadamente), produciendo átomos separados de oxígeno que luego se juntan (de 30 a 60 *km*) con moléculas de oxígeno para formar ozono estratosférico. Siendo el ozono un gas inestable, este puede romperse debido a otra colisión con átomos de oxígeno o debido a la radiación solar. Esta constante transformación entre oxígeno y ozono mantienen un equilibrio (Chorley y Barry, 2004). Este mecanismo, junto a la capa de ozono (que tiene un espesor aproximado de 3 *mm*) protegen a los seres vivos de emisiones excesivas de radiación ultravioleta.

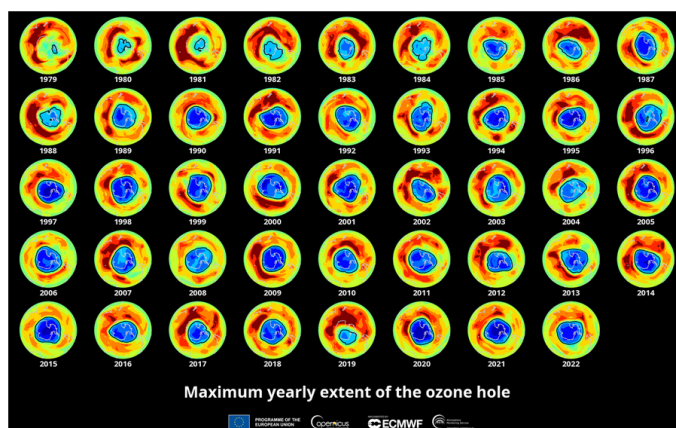
Agujero De La Capa De Ozono

Para poder medir la concentración de ozono en una determinada área de la estratósfera (la capa de ozono en particular), se utiliza la Unidad de Dobson (DU); se toma 300 DU como un aproximado equivalente a 3*mm* (el espesor aproximado de la capa de ozono). El *agujero de ozono* se define como el área en la cual la concentración de ozono es inferior a 220 DU (EEA, 2023). Principalmente, se produce este fenómeno tanto en el

Polo Norte como en el Polo Sur, produciéndose con mayor intensidad en el Polo Sur; las causas son principalmente la temperatura de la Estratósfera, ya que cuando esta es muy baja (aspecto que se produce en lo polos de la Tierra) hace más pronunciado el fenómeno.

Desde el año 1979, el agujero de la capa de ozono fue aumentando en tamaño, llegando a su máxima extensión en 2000, desde el cual fue disminuyendo paulatinamente como se puede apreciar en la Figura 2.6, esto se debe en parte a la reducción en uso de sustancias que dañan a la capa de ozono mediante el Protocolo de Montreal (Secretary-General of the United Nations, 1987). Sin embargo, el agujero de ozono se ve influenciado también por otros factores como el efecto invernadero (que contribuye al calentamiento global) o a erupciones volcánicas e incendios forestales (EEA, 2023).

Figura 2.6 Extensión del agujero de ozono en el hemisferio sur, de 1979 a 2022



Nota. Adaptado de Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, 2023)

2.1.6 Factores Que Influyen En La Intensidad De Radiación Ultravioleta

La intensidad de la radiación ultravioleta se ve influenciado por diversos factores, entre los que se encuentran (Organización mundial de la salud, 2003):

Elevación del Sol

Debido a la trayectoria del sol durante el día, la intensidad de radiación ultravioleta será mayor cuando la altura del sol sea mayor. Así, se tendrá una mayor intensidad de radiación cuando el sol se encuentre en su pico más alto, en el mediodía solar.

Latitud

Cuando se encuentre en una posición cercana al Ecuador Terrestre, la intensidad de radiación será mayor.

Nubosidad

La nubosidad también tiene un impacto en la intensidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre; sin embargo, incluso ante la presencia de nubosidad se pueden tener niveles altos de ultravioleta.

Altitud Sobre El Nivel Del Mar

Cuando la altitud es mayor, la radiación UV es más intensa. Por cada 1000 metros de altura se tiene que se la intensidad aumenta en un 10 % a 12 %

Reflexión Del Suelo

La reflexión del suelo, o conocido también como *albedo terrestre* se refiere al porcentaje de radiación ultravioleta que una superficie en la tierra refleja con respecto a la radiación recibida. Por lo que hay algunas superficies que reflejan mayormente la radiación ultravioleta.

Ozono

La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno y en un pequeño porcentaje se encuentran diversos gases, entre ellos el ozono; a pesar de ello, el ozono cumple un rol muy importante en la vida terrestre, ya que este protege de la radiación ultravioleta. El ozono tiene la propiedad de absorber longitudes de onda en el rango de la radiación ultravioleta, además de otros como los rayos X o los rayos Gamma; el ozono absorbe el 100 % de la radiación UV-C, filtra alrededor de un 90 % del UV-B, la radiación UV-A es absorbida en menor medida (Sánchez, 2006).

2.1.7 Efectos de la radiación ultravioleta en la salud humana

La radiación ultravioleta ejerce un impacto significativo en los organismos vivos, proporcionando beneficios como la síntesis de proteínas A y D en los seres humanos, participando en la formación y fijación de dientes y huesos, y contribuyendo al proceso de fotosíntesis en las plantas. No obstante, una exposición excesiva a esta radiación puede tener efectos perjudiciales tanto a corto como a largo plazo.

Quemadura Solar

Es un efecto a corto plazo de la exposición a la radiación y tiene su máxima intensidad entre las 12 a 24 horas después de la exposición. Se caracteriza por el enrojecimiento de la piel expuesta.

Figura 2.7 Ejemplos de quemadura solar producida por la radiación ultravioleta



Nota. Las imágenes fueron adaptadas de (Valbuena, s.f.)

Bronceado

El bronceado es el oscurecimiento de la piel como protección ante la exposición de la radiación ultravioleta, puede presentarse inmediatamente luego del contacto con la radiación solar o luego de un periodo de 3 días aproximadamente; este efecto está más relacionado a la radiación UV-A. Cabe mencionar que este no afecta a todo tipo de piel, más que todo repercute en los fototipos *IV* y parcialmente el tipo *III*.

Se cree erróneamente que la piel morena es resistente a la radiación solar, pero cabe mencionar que el bronceado es una medida de protección de la piel a las quemaduras solares, mas no de los efectos a largo plazo que la radiación UV puede generar en el organismo como el cáncer de piel u otras afecciones (Francesco Zaratti, 2003).

Fotoenvejecimiento

La radiación ultravioleta genera, con el paso del tiempo, la formación de radicales libres en la piel que tienen una gran capacidad oxidante; lo que conlleva al deterioro prematuro de la piel: pérdida de elasticidad, se hace áspera, presenta arrugas y cambio de color.

Figura 2.8 Ejemplo de Fotoenvejecimiento por radiación ultravioleta



Nota. Imagen adaptada de (Tormo, 2013)

Alteración del Sistema Inmunológico

Con el paso del tiempo, la radiación ultravioleta es capaz de deteriorar algunas funciones inmunológicas, en especial la radiación UV-B que genera más quemadura en la piel y afecta al ADN de las células (González-Púmariega y cols., 2009).

Fotosensibilidad

Las reacciones de fotosensibilidad se refieren a una reacción anormal del sistema inmunológico ante la exposición normal a la radiación solar, esta puede ser causada por factores genéticos o causas adquiridas. Esta afección hace que las células, al producir cambios moleculares, puedan desencadenar agentes antígenos, haciendo que la piel sea más sensible de lo habitual ante la radiación solar (Francesco Zaratti, 2003).

Urticaria Solar

Es un cuadro clínico no común que se presenta ante la presencia de radiación solar, en la cual se presenta un mecanismo de hipersensibilidad inmediata en forma de erupciones en la piel; esto debido a una respuesta del sistema inmunológico ante algún alérgeno desconocido que se produce en la radiación solar.

Cáncer Cutáneo

El cáncer de piel se caracteriza por el crecimiento de células malignas en la piel, siendo provocado comúnmente por una exposición excesiva a la radiación ultravioleta, ya sea proveniente del sol o de camas de bronceado. Los tipos más comunes de cáncer cutáneo son el carcinoma basocelular, el carcinoma de células escamosas y el melanoma. El carcinoma basocelular y el carcinoma de células escamosas son menos agresivos y se tratan con cirugía en la mayoría de los casos. El melanoma, por otro lado, es más peligroso y puede propagarse a otras partes del cuerpo. Se tienen teorías acerca de la causa por la que la radiación UV genera un cáncer (Francesco Zaratti, 2003):

- La RUV puede dañar el material genético en las células de la piel. Este daño se ve en cambios en genes como el P53 y la pérdida de partes de los cromosomas. Estos cambios dificultan la capacidad de las células para reparar su ADN, lo que puede conducir al desarrollo de células cancerosas.
- La RUV también puede generar sustancias llamadas radicales libres que dañan el ADN en las células de la piel. Este daño contribuye al riesgo de cáncer de piel.
- La exposición al sol puede debilitar el sistema inmunológico, lo que no solo puede iniciar el proceso del cáncer de piel, sino también promover su crecimiento al afectar la capacidad del sistema inmunológico para combatir las células cancerosas.

Efectos Oculares

La exposición a la radiación UV puede desencadenar respuestas agudas, tales como la fotoqueratitis y la fotoconjuntivitis, equiparables a quemaduras solares en la piel, con la particularidad de manifestarse en el tejido ocular y los párpados. Aunque estas manifestaciones suelen ser dolorosas, son mayormente reversibles y no suelen ocasionar

daños visuales permanentes. No obstante, la exposición continua a la radiación UV, especialmente la variante UVB, se ha asociado con un mayor riesgo de padecer cataratas, que constituyen una de las principales causas de ceguera a nivel global. Las cataratas se originan a partir de la opacificación del cristalino, lo que eventualmente conlleva a la pérdida significativa de agudeza visual. De ahí la importancia de salvaguardar los ojos de la exposición solar para preservar la salud visual a largo plazo (Organización mundial de la salud, 2003).

2.1.8 Metodologías Para La Prevención De Exposición A Radiación Ultravioleta

Debido a los efectos negativos que la radiación ultravioleta afecta en la salud de las personas, diversos organismos a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) o a nivel nacional (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en el Perú) implementan diferentes medidas para la prevención contra la radiación ultravioleta, entre ellas se tienen las siguientes:

Uso De filtros Solares

Los filtros solares permiten evitar un contacto directo con la radiación solar, y reducen el riesgo de padecer efectos debido a esta. Los filtros solares se pueden presentar como activos cosméticos que se aplican en la piel e impiden el paso total de radiaciones solares (Deiry Marín, 2005).

Preservación De La Capa De Ozono

La capa de ozono desempeña un papel importante en la protección contra la radiación solar, su preservación es esencial para la sostenibilidad de la vida en la Tierra. Es por ello que se tomaron una serie de medidas a nivel internacional, como el Protocolo de Montreal, en el cual se regula uso de sustancias que provocan la reducción de la capa de ozono. (Secretary-General of the United Nations, 1987)

Evitar Una Excesiva Exposición Al Sol

Un excesiva exposición a la radiación ultravioleta produce efectos en la salud de las personas, desde quemaduras y bronceados hasta la degeneración de las células y vasos sanguíneos (Organización mundial de la salud, 2003); por lo que se recomienda evitar un excesivo contacto con el sol, sobretodo entre las 10:00 y 15:00 horas, en donde la radiación solar es más intensa (Mayor y Arjona, 2001).

Protección A Grupos Vulnerables

Entre las personas vulnerables se encuentran los niños menores de 3 años, ya que su piel es mucho más sensible a la radiación solar. Al nacer, el ser humano no tiene desarrolladas las funciones de termoregulación ni sudoración hasta completar los 2 a 3 años de edad, además estos poseen menos queratina por lo que son más propensos a sufrir insolaciones.

Fotoprotección

Se debe educar a la población para que sean capaces de reconocer el fototipo de piel que estos poseen, ya que el tipo de piel varía de acuerdo al individuo y deberá tomar las respectivas medidas en base a su tipo de piel.

Medidas de Radiación Ultravioleta

Para poder contar con una forma de medir la intensidad de radiación ultravioleta que se recibe en un determinado momento, los diferentes organismos proponen diferentes índices para determinar la intensidad de radiación. El modelo más mundialmente aceptado es el Índice Ultravioleta (IUV).

Implementación De Solmáforos

Un *Solmáforo* es un sistema electrónico que sirve como herramienta informativa a la población, proporcionando información del IUV en tiempo real a la población. Se cuenta con ellos en algunos países y funcionan para el área en donde el dispositivo es instalado.

Uso De Software Informativo

Existen implementaciones de aplicativos móviles o páginas web implementados por organizaciones en donde se muestra la información de IUV en tiempo real a la población; sin embargo, estas no tienen alta confiabilidad ya que estos se basan en información de otras fuentes o realizan un cálculo aproximado ya que para poder tener un valor exacto deberían contar con sensores en todas las zonas en donde realizan la medición, además que el software sirve como manual de consulta a los usuarios, mas no de alerta.

2.1.9 Índice De Radiación Ultravioleta

El Índice de Radiación Ultravioleta (IUV) es una medida adimensional de la intensidad de radiación ultravioleta en la superficie terrestre (Organizacion mundial de la salud, 2003). Este índice también sirve como un indicador de la probabilidad de sufrir lesiones cutáneas. Fue estandarizado por la Organización Mundial de la Salud y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

El IUV como herramienta educativa

El IUV se utiliza como herramienta educativa para la población, ya que mediante programas y campañas realizadas por diversas organizaciones, se enseña a la población a informarse sobre el nivel de intensidad a la que se encuentran expuestos, así como las consecuencias y medidas de prevención. Esta herramienta incentiva a la población a tomar las medidas correspondientes en base al nivel de intensidad y en base al fototipo de piel del individuo. Este índice va principalmente dirigido a la población vulnerable, ya que son los que más deben tomar las medidas para protegerse de la radiación solar.

Formulación Del IUV

Según la OMS, la formulación del IUV se fundamenta en el *espectro de acción de referencia* de la Comisión Internacional sobre Iluminación (CIE) para el eritema inducido por la radiación UV en la piel humana [ISO 17166:1999/CIE S 007/E-1998] (Organización mundial de la salud, 2003); el cual se define mediante la siguiente ecuación:

$$I_{UV} = k_{er} \cdot \int_{250nm}^{400nm} I(\lambda) \cdot E(\lambda) d\lambda \quad (2.1)$$

Donde:

k_{er} = Constante igual a $40m^2/W$

$I(\lambda)$ = irradiancia solar global a la longitud de onda λ a nivel de la superficie en (W/m^2)

$E(\lambda)$ = Coeficiente de acción eritemática

La integral tiene como límite inferior $250nm$, puesto que toda longitud de onda menor a esta es absorbida en la estratósfera, además que toma como límite superior a $400nm$ ya que es el límite entre la radiación UVA y el espectro visible (Lozano, 2016). El coeficiente de acción eritemática $E(\lambda)$ se define de la siguiente manera (McKinlay A.F. and Diffey B.L., 1987):

$$E(\lambda) = \begin{cases} 1 & \text{para } 250 < \lambda < 298 \text{ nm} \\ 10^{[0,094(298-\lambda)]} & \text{para } 298 < \lambda < 328 \text{ nm} \\ 10^{[0,015(139-\lambda)]} & \text{para } 328 < \lambda < 400 \text{ nm} \end{cases} \quad (2.2)$$

Este coeficiente es una medida que nos permite calcular la cantidad de radiación necesaria para generar un efecto biológico específico, en este caso, la producción de eritema (enrojecimiento de la piel).

Comunicación De Los Valores Del IUV

La Organización Mundial de la Salud expone el índice UV como una medida adimensional (no cuenta con unidad, solamente con numeral) del cual indica que:

- Debe ser mostrarse al menos un valor máximo diario, el cual será un promedio de 30 minutos como máximo
- El valor debe ser redondeado al valor entero más cercano

Los valores del índice UV se dividen en diferentes categorías en base a la exposición como se muestra en el Cuadro 2.1

Cuadro 2.1 Representación del índice de radiación ultravioleta

Índice UV	Riesgo	Medidas de prevención
1-2	Mínimo	Ninguna precaución recomendada
3-5	Bajo	Se recomienda aplicar protector solar
6-8	Moderado	Se recomienda aplicar protector solar y llevar sombrero
9-11	Alto	Se recomienda aplicar protector solar, usar sombreros y gafas con filtro UV-A y UV-B
12-14	Muy alto	Se recomienda utilizar protector solar, llevar sombrero y gafas con filtro UV-A y UV-B
> 14	Extremadamente alto	Se recomienda aplicar protector solar, utilizar sombrero y gafas con filtro UV-A y UV-B. Limitar el tiempo de exposición al sol

Nota. Adaptado de Organización Meteorológica Mundial, OMS, PNUMA.

De esta manera, se puede educar a la población para que aprenda a tomar medidas en base a el índice que se registre y también en base a el fototipo de piel.

2.1.10 Clasificación Fitzpatrick

La escala de Fitzpatrick clasifica la piel humana en seis tipos:

- **Tipo I:** Piel muy clara, siempre se quema, nunca se broncea.
- **Tipo II:** Piel clara, se quema con facilidad, se broncea ligeramente.
- **Tipo III:** Piel intermedia, se quema moderadamente, se broncea gradualmente.
- **Tipo IV:** Piel trigueña, se quema mínimamente, se broncea con facilidad.
- **Tipo V:** Piel morena, raramente se quema, se broncea intensamente.
- **Tipo VI:** Piel muy oscura, nunca se quema.

El tiempo mínimo necesario para que se produzca una dosis eritematógena mínima (MED), es decir, el umbral para que aparezca una quemadura solar, depende tanto del tipo de piel como del Índice de Radiación UV (UVI). A continuación, se presenta una tabla con valores estimados en minutos (Florián, n.f.):

UVI	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
1	112.0	140.0	175.0	218.7	273.5	341.8
2	56.0	70.0	87.5	109.4	136.7	170.9
3	37.3	46.7	58.3	72.9	91.2	113.9
4	28.0	35.0	43.8	54.7	68.4	85.5
5	22.4	28.0	35.0	43.7	54.7	68.4
6	18.7	23.3	29.2	36.5	45.6	57.0
7	16.0	20.0	25.0	31.2	39.1	48.8
8	14.0	17.5	21.9	27.3	34.2	42.7
9	12.4	15.6	19.4	24.3	30.4	38.0

Cuadro 2.2 Tiempo estimado en minutos para aparición de daño solar según tipo de piel y UVI

2.2 Software e Ingeniería del Software

2.2.1 Software

Se entiende por *Software* al conjunto de instrucciones y datos almacenados que juntos gestionan información de manera que proporcionan características, funciones y desempeños buscados. Sin embargo, es importante mencionar algunas características importantes del software para tener una mejor comprensión (Pressman, 2010):

- El software no se manufactura, a diferencia de la conocida industria, el software no se construye en el mismo sentido que las maquinarias, en su lugar, el software se construye con intelecto humano, los errores introducidos también son diferentes al de la manufactura, y en muchos casos, corregir errores pueden llegar a ser más complejos
- El software no se desgasta, el software se deteriora, el software en su ciclo de vida, presenta por fases de cambio, estos a su vez producen tasas de fallas, y con el tiempo

esto va deteriorando el software, en la manufactura, las maquinarias se desgastan con el tiempo, y deben ser solucionadas de otra manera

2.2.2 Requerimientos funcionales del software

Los requerimientos funcionales de un software constituyen una especificación detallada de las funciones y comportamientos que el sistema debe llevar a cabo para satisfacer las necesidades del usuario o del negocio (Sommerville, 2011). Estos requisitos describen las operaciones específicas, las interacciones y las capacidades funcionales del software, delineando claramente cómo el sistema debe responder a entradas particulares y producir salidas específicas.

2.2.3 Requerimientos no funcionales del software

Los requisitos no funcionales de un software son aquellas características y restricciones que no se centran en las funciones específicas del sistema, sino en atributos de calidad, características de rendimiento, restricciones técnicas y otros aspectos que influyen en la eficiencia y la efectividad del software en su conjunto (Sommerville, 2011). Estos requisitos abarcan aspectos como la seguridad, la usabilidad, la escalabilidad, la fiabilidad, la disponibilidad, el rendimiento, la interoperabilidad y la mantenibilidad (Sommerville, 2011). A diferencia de los requisitos funcionales, que se centran en lo que el sistema debe hacer, los requisitos no funcionales se centran en cómo debe hacerlo, así como en las condiciones en las que debe operar.

2.2.4 Ingeniería de Software

La *Ingeniería del Software* es una disciplina de la ingeniería que se centra en los procesos de producción del software. Es una disciplina de la ingeniería porque se apoya en métodos, teorías y herramientas; y se centra en los procesos de producción del software porque no se encarga de los procesos técnicos del software, sino de otras actividades relacionadas a la administración del proyecto del software. El objetivo de la Ingeniería del Software es un software de calidad, confiable y eficiente. Se puede comprender mejor dividiendo este concepto en capas. (Pressman, 2010).

Cuadro 2.3 Capas de la Ingeniería del Software

Las herramientas se utilizan para automatizar tareas en los procesos y métodos
Los métodos de software se refieren a un conjunto de tareas que se desarrollan de manera técnica en la elaboración de software (Por ejemplo métodos de obtención de requerimientos, métodos de pruebas de software, etc)
El proceso del software es uno de los más grandes fundamentos de la ingeniería de software, este es aquel que forma la base para la administración de proyectos de software, este define las prácticas y cómo se deben realizar las tareas de manera efectiva y eficiente
La base de toda ingeniería es el compromiso de la calidad , por lo que uno de los factores importantes a tomar siempre es la mejora continua con respecto a la calidad, es por ello que siempre evolucionan los enfoques de construcción del software

2.2.5 Proceso de Desarrollo de Software

El proceso de desarrollo de software es un conjunto de actividades y tareas organizadas que conducen a la elaboración de un producto de software (Sommerville, 2011). Existe una gran variedad de procesos de software, pero se espera que todos incluyan las actividades principales:

1. Especificación del software
2. Diseño e implementación del software
3. Validación del software
4. Evolución y mantenimiento del software

Un proceso de desarrollo no tiene una estructura rígida, ya que este debe arraigarse de acuerdo al tipo y a la complejidad del software que se va a construir. Un proceso de software puede calificarse como rígido, en donde las actividades del proceso se planifican de manera anticipada; o tener una naturaleza ágil, en donde el proceso de planeación se va realizando de manera incremental, a medida que se avanza en el proceso

2.2.6 Proceso de Desarrollo Ágil

En la actualidad, con la creciente demanda en los productos de software y las cambiantes necesidades del cliente, se requieren tiempos de entrega más rápidos para los primeros, debiendo ser lo suficientemente útiles para los segundos. Ante un proceso de desarrollo rígido, la obtención de los requerimientos del cliente pueden haber cambiado para cuando ya se haya entregado el producto del software o mientras este se encuentra en la actividad de desarrollo; lo que implicaría tener que volver a analizar los requisitos del software y planificar el proceso nuevamente (Sommerville, 2011).

Ante esta problemática, con el tiempo surgieron procesos con una naturaleza ágil; este tipo de proceso se centra en entregar un software útil al cliente en el menor tiempo posible. En este tipo de proceso, el software se entrega ya no como una unidad, sino como una serie de *incrementos*, que por lo general significa aumentar nuevas funcionalidades al sistema. Para el desarrollo ágil, se pueden determinar algunas características comunes:

- El análisis de requerimientos, el diseño y la implementación se elaboran conjuntamente
- El Software se elabora en diferentes versiones

2.2.7 Metodología SCRUM

Scrum

Scrum es una metodología ágil de gestión de proyectos diseñada para desarrollar productos de manera incremental y colaborativa, adaptándose rápidamente a cambios en los requisitos y a las necesidades del cliente. Su enfoque se basa en la división del trabajo en ciclos cortos llamados sprints, en los cuales se trabaja en equipo para entregar incrementos del producto que sean potencialmente utilizables (Rubin, 2013). En cada sprint, el equipo se enfoca en un conjunto de tareas prioritarias, permitiendo la entrega continua de valor y facilitando la retroalimentación frecuente para ajustar el desarrollo según sea necesario. Scrum establece tres roles principales (Product Owner, Scrum Master y Equipo de Desarrollo), junto con un conjunto de eventos y artefactos que estructuran el trabajo y aseguran la transparencia, la inspección y la adaptación continua.

Roles Scrum

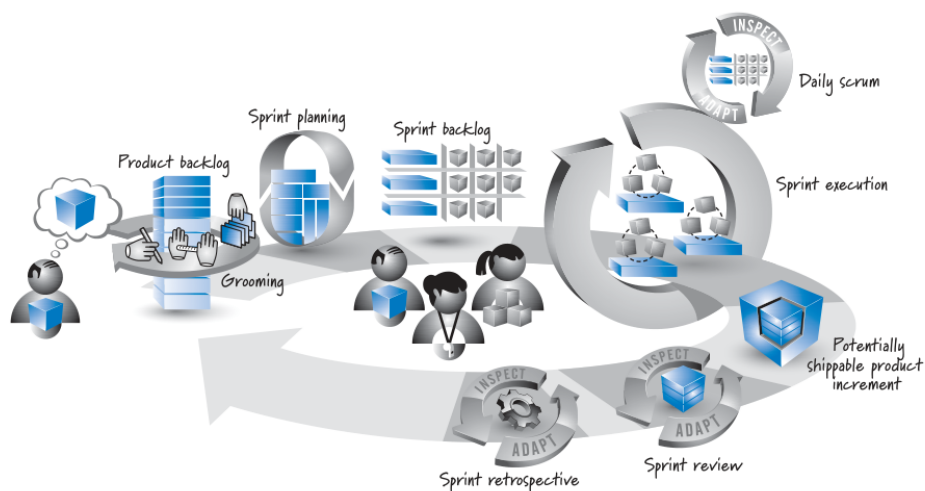
El desarrollo Scrum consiste en uno o varios *Equipos Scrum*, los cuales se componen de tres *roles Scrum*:

- **Product Owner**, quien se encarga de decidir qué características y funcionalidades construir y en qué orden hacerlo, se encargará de comunicar a todos los demás participantes una visión clara del producto que se va a construir
- **Scrum Master**, el cual se encarga de ayudar a todos los involucrados en el proyecto a adoptar valores, principios y prácticas Scrum, ayudará a solucionar problemas y a mejorar en el uso de Scrum
- **Development Team**, el cual se compone de un equipo multifuncional que se encarga de diseñar, construir y probar el producto deseado

Actividades y Artefactos

En la Figura 2.9 se muestra una vista general del marco Scrum (Rubin, 2013), el cual muestra el flujo de actividades que se realizan, además de los artefactos que están involucrados.

Figura 2.9 Diagrama de actividades del Software de gestión



Nota: La imagen se tomó de (Rubin, 2013)

El flujo Scrum se compone de iteraciones llamadas *sprints*, en el cual se realizan diferentes actividades, Scrum se organiza de la siguiente manera:

1. El proceso comienza con una idea general del producto que se quiere construir (a cargo del Product Owner)
2. En base al producto que se va a construir, se determina una pila de tareas que se realizarán para constuirlo, este es denominado *Product Backlog*. La actividad de reorganizar y dividir las tareas del Product Backlog se denomina *backlog refinement* o *grooming*¹, y es una acción que se realiza continuamente en diferentes etapas del proceso Scrum
3. Al inicio de un sprint, se selecciona un conjunto de ítems del Product backlog, a esta actividad se le denomina *Sprint Planning*; también se realizan otras actividades como determinar un objetivo del sprint y determinar los criterios que se requieren para entregar el producto al final del sprint
4. La actividad del *Sprint Backlog*, en el que se planifica la forma en cómo se realizarán los ítems seleccionados en la etapa del Sprint Planning, de manera que subdivide los ítems en tareas más pequeñas
5. Luego se realiza la ejecución de las tareas en la etapa del Sprint Execution, en donde el equipo de desarrollo realiza las tareas elaboradas. Una característica en esta actividad es la denominada *Daily Scrum*, que consiste en reuniones diarias (preferentemente) con una corta duración (por lo general unos 15 minutos) en el que los miembros del equipo de desarrollo conversa sobre los avances que realizaron, así como de los inconvenientes que actualmente afrontan. Esta reunión es importante ya que permite al equipo poder retroalimentarse y afrontar las adversidades que se le pueden presentar
6. Al finalizar un sprint, se entrea un *producto potencialmente entregable*, esto significa que debe traer al producto final una nueva funcionalidad útil

¹El término “grooming” en Scrum, utilizado para referirse a la actividad de refinamiento del backlog, fue reemplazado por “backlog refinement” para evitar connotaciones negativas asociadas al término en otros contextos, como el abuso infantil.

7. Terminado el sprint, se realiza una actividad llamada *Sprint review*, en el que todos los miembros del equipo scrum realizan un análisis de la funcionalidad que construyeron
8. También se realiza un *Sprint retrospective* en el que se hace un análisis del sprint que se realizó

2.3 Aplicaciones móviles

Las aplicaciones móviles son programas diseñados para ejecutarse en dispositivos portátiles, como teléfonos inteligentes y tabletas. Estas aplicaciones permiten a los usuarios realizar diversas tareas, desde la comunicación hasta la gestión de datos y el entretenimiento. El desarrollo de aplicaciones móviles ha evolucionado significativamente, incorporando principios de diseño centrado en el usuario, adaptabilidad a diferentes tamaños de pantalla y eficiencia en el uso de recursos del dispositivo (IBM, 2023).

2.3.1 Dispositivo móvil

Un dispositivo móvil es un aparato electrónico portátil que combina capacidades de comunicación, procesamiento de datos y acceso a internet. Estos dispositivos, como los teléfonos inteligentes, integran hardware y software que permiten la ejecución de aplicaciones móviles, facilitando así diversas funciones en la vida cotidiana de los usuarios (Baz Alonso, Ferreira Arttime, Álvarez Rodríguez, y García Baniello, 2009).

2.3.2 Sistemas operativos móviles

Los sistemas operativos móviles son plataformas de software diseñadas específicamente para gestionar los recursos de hardware y software de dispositivos portátiles, como teléfonos inteligentes y tabletas (Okediran O., 2014). Estos sistemas permiten la ejecución de aplicaciones móviles, la administración de la interfaz de usuario, la gestión de energía, conectividad inalámbrica y la interacción con sensores y componentes integrados. A diferencia de los sistemas operativos de escritorio, los móviles están optimizados para eficiencia energética, conectividad constante y adaptabilidad a pantallas táctiles.

A continuación se enumeran los principales sistemas operativos móviles utilizados actualmente o que han tenido relevancia en la historia reciente del desarrollo móvil:

- **Android:** Sistema operativo basado en Linux desarrollado por Google. Es de código abierto y ampliamente utilizado por fabricantes de dispositivos móviles en todo el mundo.
- **iOS:** Sistema operativo propietario desarrollado por Apple. Está diseñado exclusivamente para dispositivos como el iPhone, iPad y iPod Touch, y se caracteriza por su integración con el ecosistema Apple y un control estricto sobre el software disponible.
- **HarmonyOS:** Sistema operativo desarrollado por Huawei, diseñado para ofrecer una experiencia unificada entre distintos tipos de dispositivos, como teléfonos inteligentes, tabletas, televisores, relojes inteligentes y dispositivos del Internet de las Cosas. Está basado en una arquitectura de microkernel y está orientado a proporcionar una plataforma distribuida, con énfasis en la integración fluida entre hardware y software dentro de un ecosistema inteligente.

2.3.3 Android

Android es un sistema operativo de código abierto basado en el núcleo de Linux, desarrollado inicialmente por Android Inc. y adquirido por Google en 2005. Está diseñado principalmente para dispositivos móviles y proporciona una plataforma flexible para el desarrollo de aplicaciones. La arquitectura de Android se compone de varias capas, incluyendo el núcleo de Linux, bibliotecas nativas, el marco de aplicaciones y las aplicaciones mismas. Esta estructura modular permite a los desarrolladores acceder a las funcionalidades del dispositivo de manera eficiente y segura (Google, 2024).

2.3.4 SDK

El *Software Development Kit* (SDK) de Android es un conjunto de herramientas proporcionado por Google que facilita el desarrollo de aplicaciones para la plataforma Android. Incluye compiladores, emuladores, depuradores y bibliotecas que permiten construir, probar y empaquetar aplicaciones móviles. Además, se integra con entornos de

desarrollo como Android Studio, lo que simplifica el proceso de creación de aplicaciones desde la interfaz gráfica hasta la implementación funcional (Android, 2024).

2.3.5 Flutter

Flutter es un marco de desarrollo de interfaz de usuario (UI) de código abierto creado por Google, diseñado para construir aplicaciones nativas multiplataforma desde un único código base (Amazon Web Services, 2024). Utiliza el lenguaje de programación Dart y proporciona un enfoque declarativo para el diseño de interfaces, permitiendo a los desarrolladores crear aplicaciones con diseños personalizados y un rendimiento cercano al nativo. Flutter se distingue por su motor gráfico integrado, que renderiza componentes directamente sin depender de elementos nativos del sistema operativo, lo que garantiza consistencia visual en plataformas como Android, iOS, Windows, macOS, Linux y la web. Además, ofrece herramientas como hot reload, que agilizan el ciclo de desarrollo al permitir actualizaciones instantáneas en la interfaz. Su ecosistema extenso y creciente lo ha convertido en una opción popular para proyectos que requieren eficiencia y flexibilidad en múltiples plataformas.

2.3.6 Aplicaciones Nativas Multiplataforma

Las aplicaciones nativas multiplataforma son aquellas diseñadas para funcionar en diferentes sistemas operativos móviles (como Android e iOS) utilizando un único código base. A diferencia de las aplicaciones nativas tradicionales, que requieren el desarrollo de código específico para cada plataforma, las aplicaciones multiplataforma permiten que los desarrolladores escriban una sola vez el código de la aplicación y lo desplieguen en múltiples plataformas sin comprometer el rendimiento ni la experiencia de usuario. Esto se logra a través de herramientas y frameworks que abstraen las particularidades de cada sistema operativo, facilitando la creación de aplicaciones que mantienen un rendimiento y apariencia nativos. El desarrollo de aplicaciones nativas multiplataforma se ha popularizado debido a la reducción de tiempos de desarrollo y costos, permitiendo a las empresas llegar a una mayor audiencia sin duplicar esfuerzos de programación.

2.4 Internet de las cosas

Se define al Internet de las cosas (IoT: Internet of Things), como una infraestructura que permite la interconexión de objetos físicos o digitales a través de internet (Universidad de Granada, 2020). Esta permite la recopilación, análisis y comunicación de datos en tiempo real. Una infraestructura IoT se compone de diversos elementos.

2.4.1 Sensores y actuadores

Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos que tienen la característica de detectar y medir variables físicas o químicas de su entorno (temperatura, humedad, radiación, luz, presión, etc.), los cuales convierten estas medidas en unidades de voltaje, los cuales son procesados posteriormente por una unidad de control (Rayers A., Salam S., 2019).

Actuadores

Los actuadores dentro de un sistema IoT constituyen las unidades de acción, aquellas que realizan actividades en base a la energía recibida por el sistema (hidráulica, eléctrica, neumática, etc.) gestionadas por una unidad de control (Rayers A., Salam S., 2019).

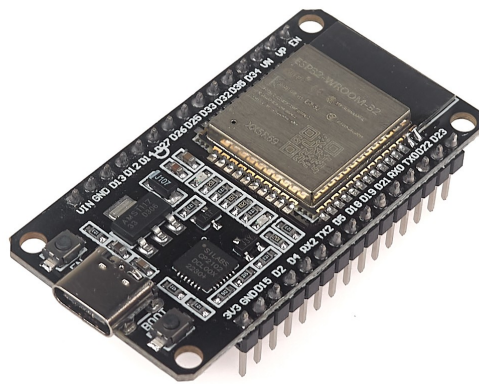
2.4.2 Microcontroladores

Los microcontroladores son dispositivos integrados que contienen una unidad central de procesamiento (CPU), memoria (RAM y ROM), y periféricos de entrada/salida en un solo chip (Rayers A., Salam S., 2019). Estos dispositivos están diseñados para realizar tareas específicas y controladas dentro de sistemas embebidos, los cuales se encuentran en aplicaciones de automatización, control de procesos, y dispositivos electrónicos. Un microcontrolador se programa para ejecutar un conjunto de instrucciones que interactúan con el entorno mediante sensores y actuadores, permitiendo la ejecución de procesos en tiempo real con bajo consumo de energía y tamaño reducido. La versatilidad de los microcontroladores ha llevado a su implementación en una amplia variedad de sectores, como la automoción, la medicina, la electrónica de consumo, y la robótica, entre otros.

ESP32

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems, diseñado para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) y sistemas embebidos (Cameron N., 2023). Este microcontrolador soporta múltiples conectividades inalámbricas, como Wi-Fi y Bluetooth (tanto clásico como Low Energy). Gracias a su capacidad de procesamiento y sus características integradas, como amplios puertos de entrada/salida, ADCs, DACs, y otros periféricos, el ESP32 es ideal para aplicaciones en tiempo real que requieren comunicación inalámbrica, control de dispositivos y adquisición de datos. En la Figura se aprecia un modelo de placa de desarrollo para este microcontrolador. El ESP32 destaca por su bajo consumo energético, lo que lo hace adecuado para dispositivos portátiles y aplicaciones de largo alcance que dependen de baterías. Además, ofrece un gran rendimiento en procesamiento de datos a pesar de su tamaño compacto.

Figura 2.10 Placa de desarrollo para el ESP32 (WROOM-32)



2.4.3 API

Una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) es un conjunto de reglas y protocolos que permiten que distintos programas de software se comuniquen entre sí. Actúa como un intermediario que permite que una aplicación solicite servicios o datos a otra, de forma segura y estandarizada (Red Hat, 2024).

2.4.4 Sistema en tiempo real

En el contexto del IoT, se entiende que un sistema en tiempo real comprende aquel que reacciona (mediante los actuadores) frente a los cambios de su entorno (capturados por los sensores) al mismo tiempo en que estos ocurren (Cambridge University Press, 2024). Al mencionar que estos reaccionan *al mismo tiempo*, significa que deben responder en lapso menor a un determinado periodo.

2.4.5 Protocolos de comunicación

Para el flujo de información en un sistema IoT, se utilizan principalmente WiFi y Bluetooth (Rayers A., Salam S., 2019), estos permiten una comunicación eficaz, económica y escalable.

WiFi

WiFi (Wireless Fidelity) es una tecnología de comunicación inalámbrica basada en los estándares IEEE 802.11, ampliamente utilizada en redes de área local (WLAN) para interconectar dispositivos a través de una infraestructura de red existente, como routers y puntos de acceso. En el contexto de IoT, WiFi permite transmitir datos a altas velocidades y con un mayor ancho de banda en comparación con otras tecnologías inalámbricas de corto alcance.

WiFi es ideal para aplicaciones que requieren un alto volumen de transferencia de datos y una conexión constante a Internet, como cámaras de videovigilancia, electrodomésticos inteligentes y dispositivos de domótica complejos. No obstante, su consumo energético relativamente elevado lo hace menos adecuado para dispositivos que operan con baterías y demandan bajo consumo, como sensores remotos o nodos IoT de bajo mantenimiento.

Además, WiFi opera principalmente en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz (e incluso 6 GHz con WiFi 6E), lo que le permite alcanzar velocidades de transmisión elevadas, aunque con una cobertura limitada por la interferencia y obstáculos físicos. Su adopción en entornos IoT debe equilibrar la necesidad de rendimiento con la eficiencia energética, siendo más apropiado para nodos fijos, alimentados permanentemente o con requerimientos de alta capacidad de datos.

Bluetooth

Bluetooth Clásico (BR/EDR) y Bluetooth Low Energy (BLE) son dos modos de operación del estándar Bluetooth que se diferencian principalmente en su enfoque y consumo energético. Bluetooth Clásico está optimizado para conexiones continuas y transferencia de datos a altas tasas, siendo ideal para aplicaciones como audio inalámbrico y periféricos que requieren transmisión constante. Por otro lado, BLE está diseñado para aplicaciones que necesitan bajo consumo de energía, como dispositivos IoT, sensores y aplicaciones de monitoreo, donde las transmisiones son esporádicas o en pequeñas cantidades. La principal diferencia radica en el consumo de energía, con BLE siendo significativamente más eficiente, y en los protocolos subyacentes utilizados para la comunicación.

Bluetooth se divide en dos modalidades principales: Bluetooth Clásico (BR/EDR) y Bluetooth Low Energy (BLE), cada una diseñada para necesidades específicas de comunicación. Bluetooth Clásico, caracterizado por su capacidad de mantener conexiones continuas y tasas de transferencia elevadas, es adecuado para aplicaciones como audio inalámbrico y periféricos que requieren un flujo constante de datos. Por su parte, BLE se enfoca en minimizar el consumo energético, priorizando aplicaciones como dispositivos IoT, sensores y sistemas de monitoreo que demandan transmisiones esporádicas o de bajo volumen. La diferencia clave entre ambos radica en el enfoque de optimización: mientras Bluetooth Clásico prioriza el rendimiento continuo, BLE está diseñado para maximizar la eficiencia energética, aspectos fundamentales al implementar soluciones modernas en sistemas embebidos con conectividad inalámbrica.

2.4.6 Arquitectura IoT

La arquitectura de tres capas es uno de los modelos más fundamentales y ampliamente utilizados en el diseño de sistemas de Internet de las Cosas (IoT). Esta estructura organizativa permite segmentar las funciones del sistema en niveles jerárquicos claramente definidos, facilitando tanto su implementación como el análisis de seguridad y rendimiento. Cada capa cumple un rol específico dentro del ecosistema IoT, desde la adquisición de datos hasta la entrega de servicios al usuario final. Se tienen las siguientes capas de la infraestructura (Burhan, 2018):

- **Capa de percepción (Perception Layer):** Es el nivel más bajo de la arquitectura y se encarga de la adquisición de datos del entorno físico mediante sensores, actuadores, etiquetas RFID u otros dispositivos de detección. Esta capa permite identificar objetos, capturar variables del entorno (como temperatura, humedad, posición, etc.) y convertir esta información en señales digitales que puedan ser procesadas por el sistema. Representa el punto de entrada de los datos hacia el sistema IoT.
- **Capa de red (Network Layer):** Su función principal es transmitir la información recolectada por la capa de percepción hacia las plataformas de procesamiento y almacenamiento, que pueden estar localizadas en servidores o en la nube. Esta capa emplea diversos protocolos de comunicación, tanto inalámbricos como cableados (WiFi, Bluetooth, ZigBee, LTE, entre otros), y también gestiona el direccionamiento, enrutamiento y seguridad de los datos durante su tránsito por la red.
- **Capa de aplicación (Application Layer):** Es la capa superior de la arquitectura y actúa como interfaz entre el sistema IoT y el usuario final. Aquí se procesan los datos recibidos para ofrecer servicios inteligentes adaptados al contexto, como domótica, monitoreo ambiental, gestión de salud o automatización industrial. Esta capa define los protocolos de servicio, lógica de negocio y estándares de interoperabilidad que permiten a las aplicaciones comunicarse efectivamente con el resto de la infraestructura.

2.4.7 Firebase

Firebase es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles y web proporcionada por Google, que ofrece una amplia gama de servicios backend como bases de datos en tiempo real, autenticación de usuarios, almacenamiento en la nube, mensajería en tiempo real y funciones de análisis. Su arquitectura permite a los desarrolladores crear aplicaciones escalables y de alto rendimiento sin necesidad de gestionar servidores o infraestructura compleja. Firebase Realtime Database y Firestore, dos de sus servicios más destacados, facilitan la sincronización de datos en tiempo real entre usuarios y dispositivos. Además, Firebase incluye herramientas como Firebase Authentication, que simplifica la implementación de sistemas de autenticación de usuarios, y Firebase Cloud Messaging,

que permite la integración de notificaciones push. Su integración con otras herramientas de Google, junto con su amplia documentación y comunidad de soporte, ha convertido a Firebase en una opción popular para el desarrollo ágil y eficiente de aplicaciones móviles y web. En resumen, los servicios más importantes para el presente proyecto son los siguientes:

- **Firebase Cloud Messaging (FCM):** Servicio que permite el envío de notificaciones y mensajes en tiempo real a aplicaciones móviles o web. Facilita la comunicación entre servidores y clientes, y es ampliamente utilizado para notificaciones push personalizadas, actualizaciones de estado o alertas. FCM es altamente escalable y soporta múltiples plataformas (Android, iOS y web).
- **Firebase Realtime Database:** Base de datos NoSQL alojada en la nube que permite almacenar y sincronizar datos entre usuarios y dispositivos en tiempo real. Es especialmente útil para aplicaciones colaborativas y de alto dinamismo, ya que cualquier cambio en los datos se refleja instantáneamente en todos los clientes conectados.
- **Cloud Functions for Firebase:** Servicio que permite ejecutar funciones backend en la nube como respuesta a eventos originados en Firebase (como escrituras en la base de datos, autenticaciones o solicitudes HTTP). Estas funciones se ejecutan bajo demanda, sin necesidad de administrar servidores, lo que permite extender la lógica de negocio de manera escalable y segura.

Capítulo 3

Desarrollo del Proyecto

3.1 Visión del Proyecto

3.1.1 Definición del Producto

En esta etapa se definen los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema, en base a los objetivos planteados en la investigación. En base a los requerimientos del sistema, se consideró incorporar al sistema los siguientes módulos:

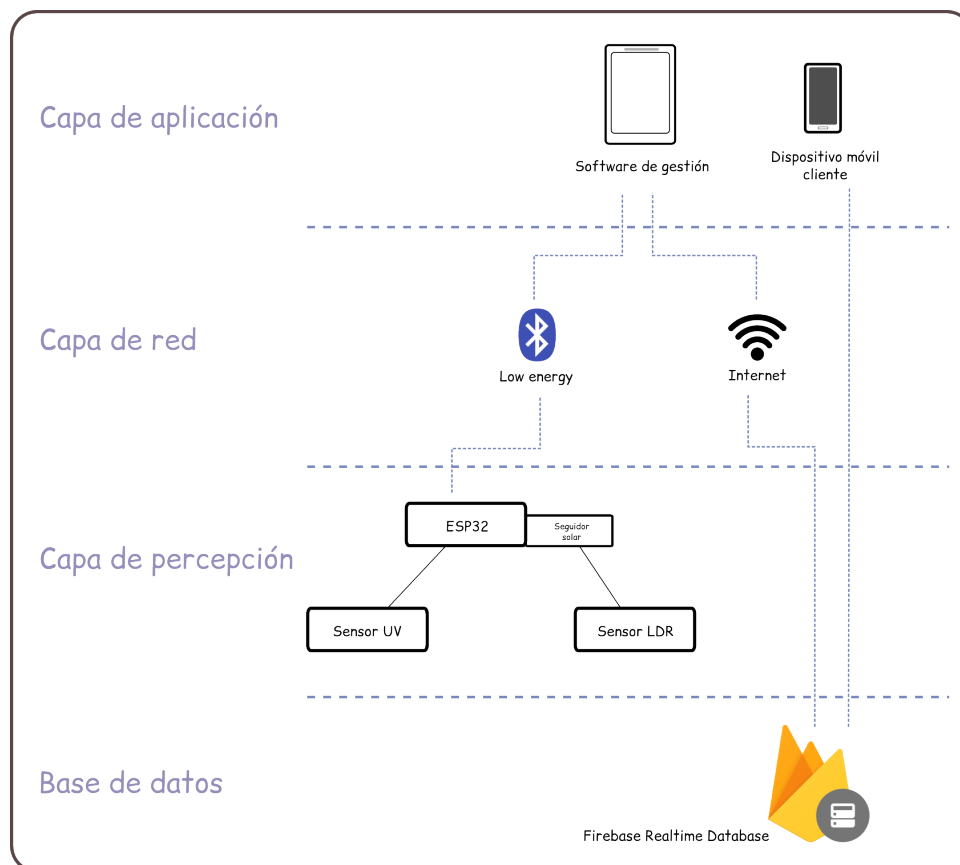
1. **Dispositivo embebido:** Se requiere un sistema embebido que realice la lectura del índice UV mediante un sensor; además, este deberá comunicarse mediante Bluetooth para comunicarse con la Interfaz Visual
2. **Software de gestión:** Se considerará implementar un dispositivo tablet que recibirá las lecturas del sistema embebido mediante Bluetooth, este se encargará de mostrar la información al público, además será quien enviará la información al Servidor Backend para su futuro procesamiento
3. **Servidor Backend:** Este se encarga de almacenar la información en una base de datos, proporcionar la información en tiempo real y generar notificaciones a los dispositivos móviles cliente
4. **Base de datos:** Se requerirá una base de datos para almacenar las lecturas del índice IUV, así como para poder leer la información de esta en tiempo real

5. **Dispositivo móvil cliente:** La aplicación móvil tendrá la función de mostrar la información del índice IUV en tiempo real a los usuarios, así como emitir notificaciones recibidas por el servidor backend

Cabe aclarar que el dispositivo embebido trabajará conjuntamente con la interfaz visual, ya que estos se comunicarán mediante Bluetooth de Baja Energía (BLE), por lo que se les puede considerar a ambos como un solo componente.

Se define la estructura del sistema en la figura 3.1, se divide la infraestructura en tres capas. La capa de percepción constituyen los sensores del sistema, en este caso el sensor de radiación UV y los sensores de luz LDR, los cuales se encargan junto al microcontrolador de enviar la información mediante la capa de red utilizando Bluetooth de Baja Energía (BLE). En la capa de aplicación se encuentran el Software de Gestión y el Dispositivo Móvil Cliente

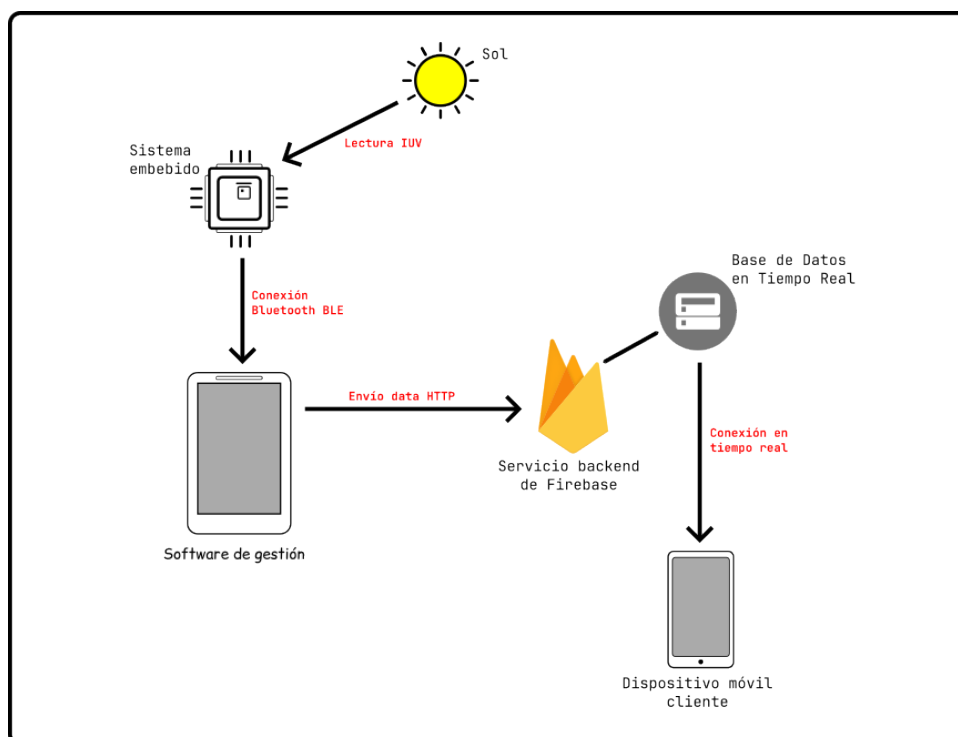
Figura 3.1 Arquitectura del sistema



Para dilucidar sobre la estructura y organización de los componentes, se mostrará el flujo del sistema en la Figura 3.2. En primer lugar, el Dispositivo embebido realizará la lectura de los niveles de radiación ultravioleta proveniente del Sol, mediante el cual

obtiene el índice UV, el cual será enviado a la Interfaz visual mediante Bluetooth, cabe mencionar que para el presente sistema se utilizará Bluetooth de baja energía (BLE), ya que la cantidad de información enviada no será constante. La Interfaz visual se encargará de procesar la información recibida del microcontrolador, mostrando en pantalla al cliente por un lado y enviando la información recibida al servidor Backend. Para el backend del sistema, se utilizará Firebase como servicio en la nube, el cual proporcionará prestaciones de base de datos en tiempo real (denominado Realtime Database) y generación de notificaciones a los usuarios cliente. Finalmente los Dispositivos móviles cliente se encargarán de leer la información de la base de datos del sistema (Alojado en el servicio Firebase) mediante una conexión en tiempo real, mostrando así la información recibida al cliente, además de otra información adicional útil, como un historial de lecturas e información sobre prevención y educación contra la radiación solar. Cuando se obtenga una lectura muy alta del índice IUV, el sistema se encargará de generar notificaciones a todos los Dispositivos cliente (esto mediante el Servidor Backend de Firebase).

Figura 3.2 Flujo del sistema



El sistema no contará con administradores, ya que el sistema embebido será instalado en una zona adecuada para su funcionamiento y este se encargará de realizar el trabajo de envío de información a los usuarios cliente, los cuales accederían a la infor-

mación en tiempo real mediante la interfaz visual del sistema, así como también podrán acceder a esta mediante su aplicativo móvil. Por lo tanto, se definirá un único perfil denominado *usuario cliente*.

Considerando al usuario cliente del sistema, se definen a continuación las siguientes historias de usuario:

Cuadro 3.1 Historia de usuario 1

Historia de usuario: Ver información IUV
Como cliente, quiero ver la información del índice IUV en tiempo real para informarme acerca del estado de radiación actual.

Cuadro 3.2 Historia de usuario 2

Historia de usuario: Ver historial de lecturas IUV
Como cliente, quiero ver el historial de lecturas del índice IUV, para ver la evolución de la radiación del día e informarme de las horas con mayor radiación.

Cuadro 3.3 Historia de usuario 3

Historia de usuario: Recibir notificaciones ante el IUV alto
Como cliente, quiero recibir notificaciones en tiempo real ante el elevado índice IUV, para poder tomar las medidas preventivas cuando la radiación sea muy alta.

Cuadro 3.4 Historia de usuario 4

Historia de usuario: Conocer fototipo de piel
Como cliente, deseo conocer mi fototipo de piel, para poder informarme acerca de el tipo de mi piel con respecto a la radiación.

Cuadro 3.5 Historia de usuario 5

Historia de usuario: Recibir información educativa sobre el IUV
Como cliente, quiero recibir información relacionada al índice IUV y las medidas preventivas, para poder estar informado sobre cómo debo cuidarme ante la radiación.

3.1.2 Identificación de Roles

A continuación se especificarán los roles Scrum realizados por el mismo autor de la investigación, definiendo lo siguiente:

- Como *Product Owner*, se determinarán las funcionalidades que deberá cumplir el sistema
- Como *Scrum Master*, se asegurará el cumplimiento de los principios y prácticas ágiles en cada iteración del desarrollo
- Como *Equipo de Desarrollo*, se diseñará e implementará el sistema, llevando a cabo las tareas determinadas.

3.1.3 Pila del producto (Product Backlog)

En base a las historias de usuario determinadas en la visión del proyecto, se determinará ahora un Product Backlog del presente proyecto como el la Tabla 3.6

Cuadro 3.6 Product Backlog del sistema

N°	Descripción	Tamaño
1	Determinar los requerimientos del Dispositivo embebido	3
2	Realizar un modelado del Dispositivo embebido	5
3	Determinar los requerimientos del Software de gestión	3
4	Realizar un modelado del Software de gestión	5
5	Obtener los requerimientos del Sistema backend	3
6	Realizar el modelado del Sistema backend	5
7	Determinar los requerimientos del Sistema móvil cliente	3
8	Realizar el diseño del Dispositivo embebido	7
9	Realizar las pruebas preliminares para el Dispositivo embebido	5
10	Implementar el Dispositivo embebido	L
11	Realizar el diseño del Software de gestión	5
12	Implementar el Software de gestión	L
13	Realizar el diseño del Servidor Backend	5
14	Configurar e implementar el Servidor Backend	5
15	Realizar el modelado del Sistema móvil cliente	5
16	Realizar el diseño del Sistema móvil cliente	5
17	Implementar el Sistema móvil cliente	XL

■ Prioridad Alta ■ Prioridad Media ■ Prioridad Baja

3.1.4 Plan de Lanzamiento

Ahora se procederá a planificar los tiempos de implementación esperados del sistema, para esto, se tomarán los módulos principales del proyecto para determinar un plazo de construcción como se muestra en el Cuadro 3.7

Cuadro 3.7 Plan de lanzamiento

Mes	1				2			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4
Sistema Embebido								
Base de datos								
Servidor Backend								
Interfaz visual								
Interfaz móvil cliente								

3.1.5 Características del software

Considerando la problemática a resolver, se consideró que el software del sistema deberá contar con las siguientes características durante el desarrollo de la aplicación de software:

- **Sistema operativo final:** Android
- **Mínimo SDK:** 26, el cual garantiza (en el momento de desarrollo del aplicativo) una compatibilidad con el 97.4 % de dispositivos

3.2 Primer Sprint

3.2.1 Sprint Planning

Objetivo del Sprint

Realizar un análisis de los requerimientos del sistema y obtener el modelado del Dispositivo embebido y del Software de gestión

Selección de Tareas

Para la presente iteración, en base al objetivo general del sprint, se determinaron realizar los siguientes ítems del Product Backlog:

- Determinar los requerimientos del Dispositivo embebido

- Realizar un modelado del Dispositivo embebido
- Determinar los requerimientos del Software de gestión
- Realizar un modelado del Software de gestión
- Obtener los requerimientos del Sistema backend
- Realizar el modelado del Sistem backend
- Determinar los requerimientos del Sistema móvil cliente

3.2.2 Sprint Backlog

Se procederá a dividir los ítems del Product Backlog en las siguientes tareas:

Cuadro 3.8 Sprint 1: Tarea 1

Tarea: Determinar los requerimientos del Dispositivo embebido
Se deberán obtener los requerimientos del dispositivo embebido del sistema: ■ Determinar los requerimientos funcionales ■ Determinar los requerimientos no funcionales ■ Determinar los requerimientos de hardware del dispositivo ■ Determinar los requerimientos de interfaz

Cuadro 3.9 Sprint 1: Tarea 2

Tarea: Realizar un diagrama de componentes del Dispositivo embebido
Se deberá realizar un diagrama de componentes para el dispositivo embebido

Cuadro 3.10 Sprint 1: Tarea 3

Tarea: Realizar un diagrama de actividades del Dispositivo embebido
Se deberá realizar un diagrama de actividades para el dispositivo embebido

Cuadro 3.11 Sprint 1: Tarea 4

Tarea: Determinar los requerimientos del Software de gestión
Se deberán obtener los requerimientos del software de gestión del sistema: ■ Determinar los requerimientos funcionales ■ Determinar los requerimientos no funcionales

Cuadro 3.12 Sprint 1: Tarea 5

Tarea: Realizar un diagrama de componentes del Software de gestión
Se deberá realizar un diagrama de componentes para el software de gestión

Cuadro 3.13 Sprint 1: Tarea 6

Tarea: Realizar un diagrama de actividades del Software de gestión
Se deberá realizar un diagrama de actividades del software de gestión

Cuadro 3.14 Sprint 1: Tarea 7

Tarea: Realizar un diagrama de secuencia inicial del sistema
Se deberá realizar un diagrama de secuencia para el sistema en donde se involucren el Dispositivo embebido, el Software de gestión y el sistema backend

Cuadro 3.15 Sprint 1: Tarea 8

Tarea: Determinar los requerimientos del Sistema backend
Se deberán obtener los requerimientos del sistema backend del sistema: ■ Determinar los requerimientos funcionales del sistema

Cuadro 3.16 Sprint 1: Tarea 9

Tarea: Realizar un diagrama de actividades del Sistema backend
Se deberá realizar un diagrama de componentes para el sistema backend

Cuadro 3.17 Sprint 1: Tarea 10

Tarea: Determinar los requerimientos del Sistema móvil cliente
Se deberán obtener los requerimientos del sistema backend del sistema: ■ Determinar los requerimientos funcionales del sistema ■ Determinar los requerimientos no funcionales del sistema

3.2.3 Sprint Execution

Tarea 1: Determinar los requerimientos del Sistema Embebido

En base a la descripción del módulo Dispositivo embebido y a la función que cumplirá en el sistema, se determinaron los siguientes requerimientos:

Requerimientos funcionales

- El sistema debe realizar lecturas de la radiación solar mediante un sensor óptimo para obtener un índice de radiación ultravioleta (IUV)
- El sistema debe contar con un módulo para realizar un seguimiento a la luz solar, esto para mantener perpendicular el sensor de luz ultravioleta con los rayos del sol
- El sistema deberá enviar la información de lectura IUV al módulo de Interfaz visual

Requerimientos no funcionales

- El sistema debe ser óptimo en consumo de energía eléctrica
- El sistema debe poder transportarse fácilmente
- El sistema fácil de instalar en ambiente

Requerimientos de hardware

- El sistema debe contar con un sensor de lectura de radiación ultravioleta
- El sistema debe contar con un módulo de Bluetooth
- El sistema debe contar con servomotores para el seguimiento de luz solar

- El sistema debe contar con un microcontrolador para programación de componentes

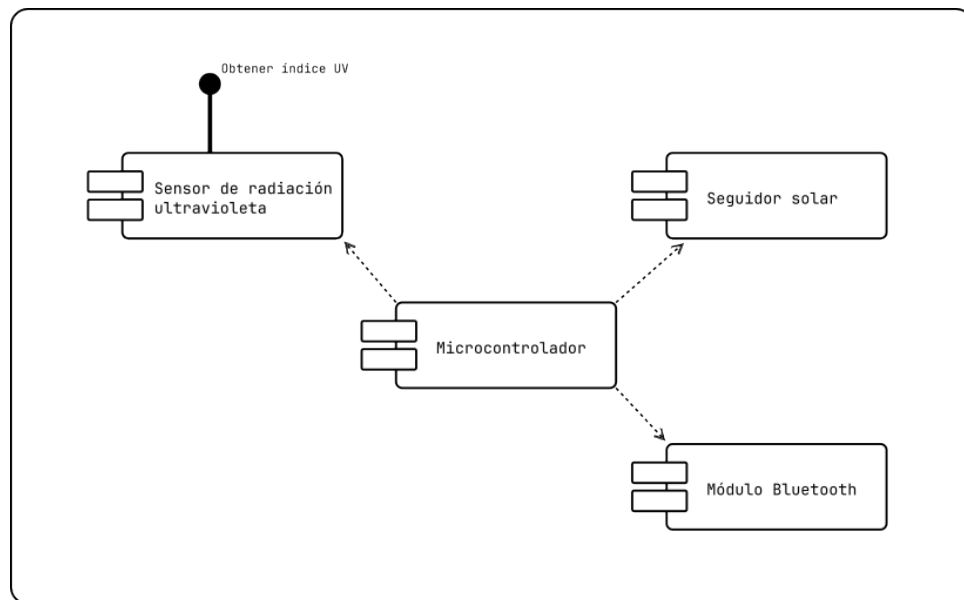
Requerimientos de interfaz

- El sistema deberá comunicarse por Bluetooth con la Interfaz visual, enviándole a este las lecturas de radiación ultravioleta

Tarea 2: Realizar un diagrama de componentes de Dispositivo embebido

En base a los requerimientos del Dispositivo embebido, se realizó el diagrama de componentes mostrado en la Figura 3.3.

Figura 3.3 Diagrama de componentes del Dispositivo embebido



Tarea 3: Realizar un diagrama de actividades del Dispositivo embebido

En base a los requerimientos que deberá cumplir el Dispositivo embebido, se realizó el diagrama de actividades mostrado en la Figura 3.4.

Tarea 4: Determinar los requerimientos del Software de gestión

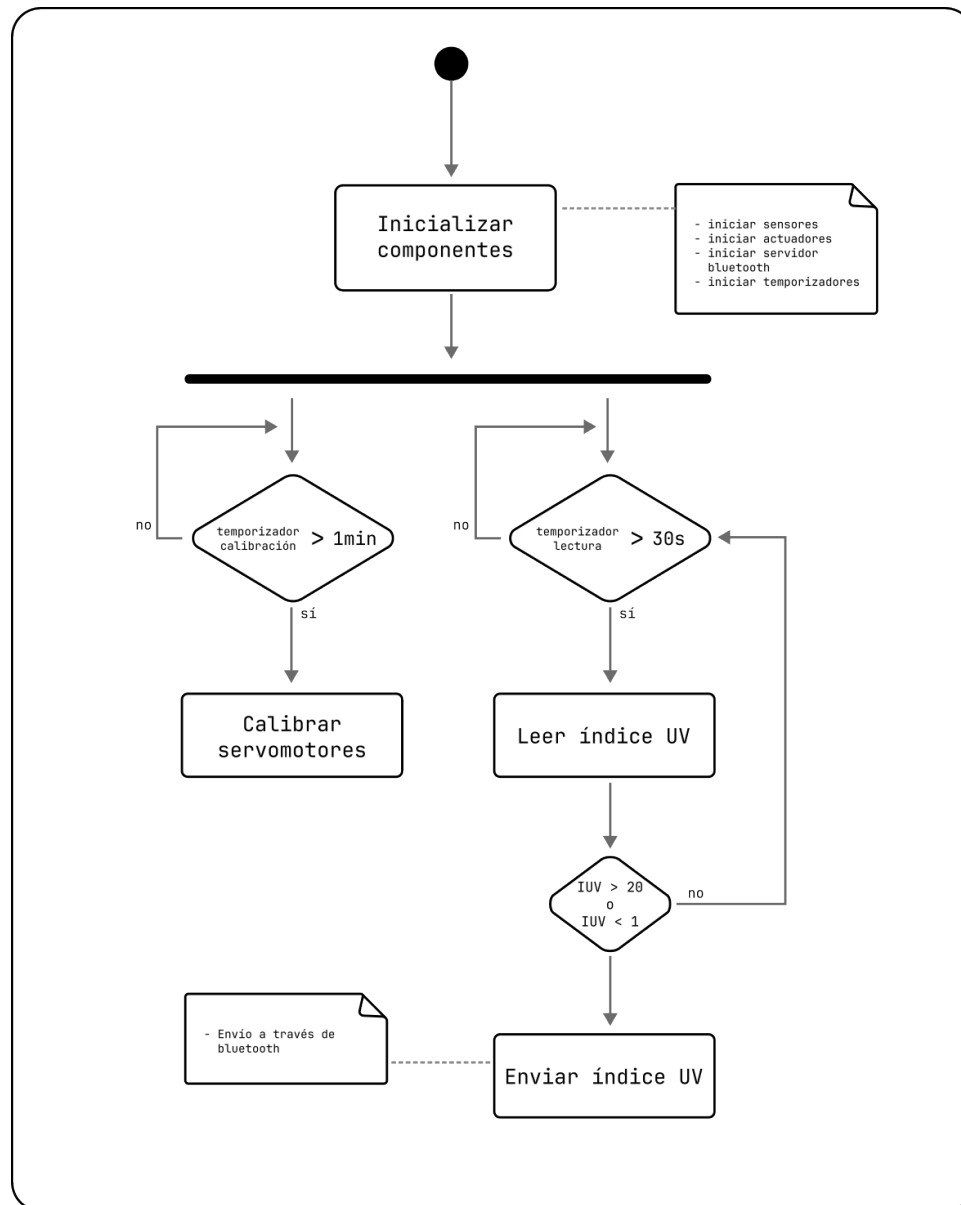
Se tienen los siguientes requerimientos para el software de gestión:

Requerimientos funcionales

- El sistema deberá conectarse (vía Bluetooth) al dispositivo embebido
- El sistema deberá leer los datos recibidos del dispositivo embebido

- El sistema deberá mostrar el índice IUV actual al usuario cliente
- El sistema deberá mostrar un historial de lecturas del índice IUV
- El sistema deberá enviar el índice IUV al sistema backend

Figura 3.4 Diagrama de actividades del Dispositivo embebido



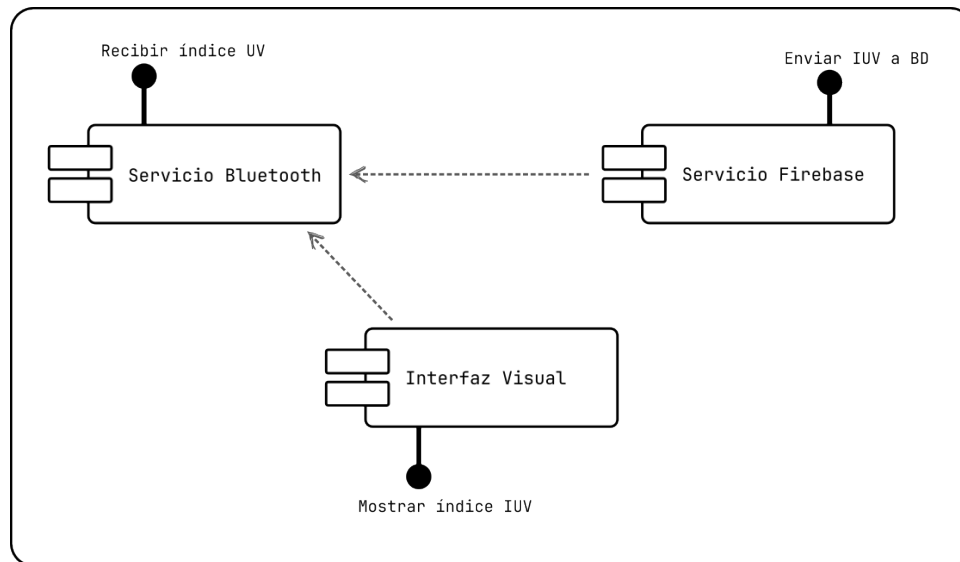
Requerimientos no funcionales

- La conexión Bluetooth al dispositivo embebido debe ser confiable
- Se requiere una conexión confiable al sistema backend para el envío de datos
- Se espera una integridad de datos en el envío de datos al sistema backend

Tarea 5: Realizar un diagrama de componentes del Software de gestión

Para el software de gestión, se tiene el siguiente diagrama de componentes:

Figura 3.5 Diagrama de componentes del Software de gestión



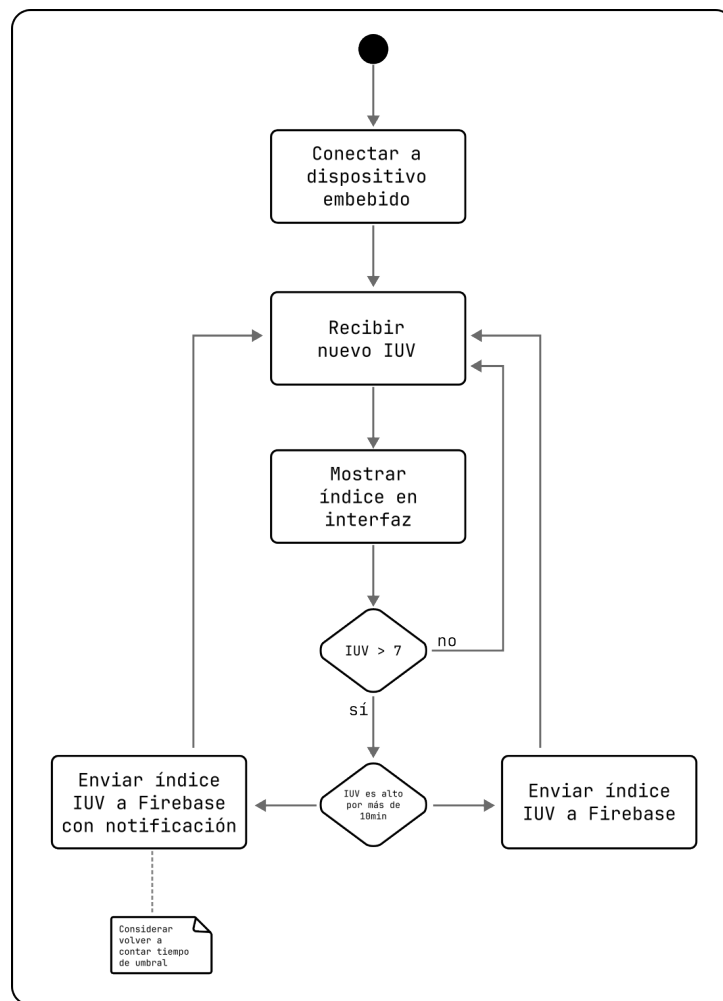
Tarea 6: Realizar un diagrama de actividades del Software de gestión

En base a los requerimientos del software de gestión, se tiene el siguiente diagrama de actividades de la Figura 3.6

Tarea 7: Realizar un diagrama de secuencia inicial del sistema

En base a los requerimientos y al modelado de los componentes del sistema hasta ahora, en la Figura 3.7 se modeló el diagrama de secuencia de los componentes Dispositivo embebido, Software de gestión y del sistema backend.

Figura 3.6 Diagrama de actividades del Software de gestión



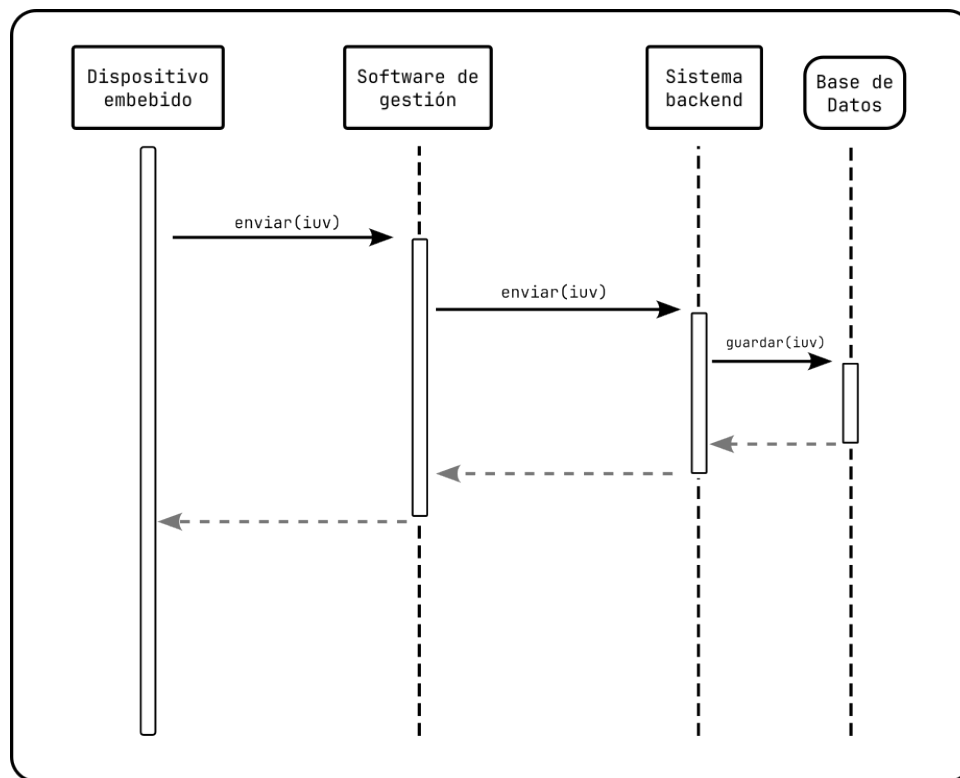
Tarea 8: Determinar los requerimientos del Sistema backend

Se determinaron los siguientes requerimientos:

Requerimientos funcionales

- Almacenar datos del índice UV en la base de datos
- Proporcionar los datos del índice UV en tiempo real
- Generar envío de notificaciones a los dispositivos móviles cliente

Figura 3.7 Diagrama de secuencia del sistema



Tarea 9: Realizar un diagrama de actividades del Sistema backend

En base a los requerimientos del sistema, se documenta en la Figura 3.8 el diagrama de actividades del Sistema backend.

Tarea 10: Determinar los requerimientos del Sistema móvil cliente

Requerimientos funcionales

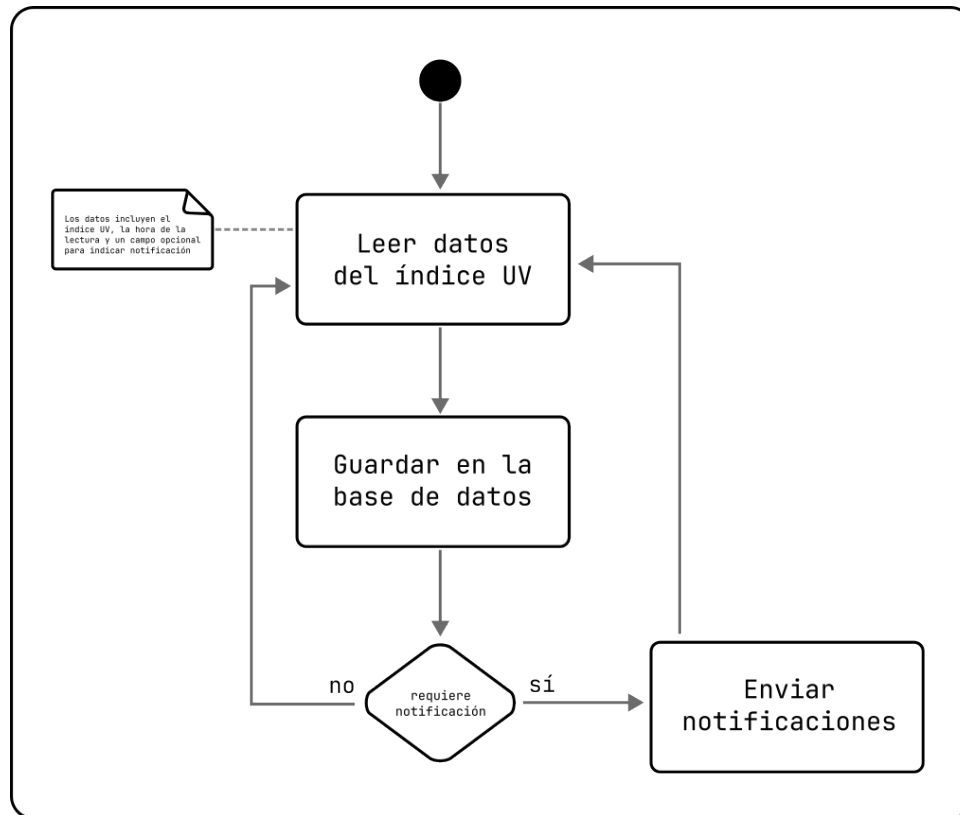
- Leer índice UV de la base de datos en tiempo real
- Mostrar historial del índice UV
- Mostrar índice UV en tiempo real
- Mostrar información de medidas de prevención contra la radiación ultravioleta
- Mostrar información de fototipo de piel al usuario cliente

Requerimientos no funcionales

- Se espera una conexión confiable al sistema backend

- Se espera confiabilidad en la recepción de notificaciones

Figura 3.8 Diagrama de actividades del Sistema backend



3.2.4 Sprint Review

Finalizado la etapa de ejecución del primer sprint, se cumplieron los siguientes resultados:

- Se determinaron los requerimientos del Dispositivo embebido, el Software de gestión, del Sistema backend y del Sistema móvil cliente, por lo que se tiene un buen entendimiento de los requerimientos del sistema en general
- Se realizaron los modelados del Dispositivo embebido, así como del Software de gestión y del Sistema backend

Por lo cual se cumplió correctamente el objetivo principal del sprint

3.3 Segundo Sprint

3.3.1 Sprint Planning

Objetivo del Sprint

El sistema deberá obtener el índice de radiación ultravioleta y almacenar la información en la base de datos

Selección de Tareas

Para esta iteración, se escogieron los siguientes ítems del Product Backlog:

- Realizar el diseño del Dispositivo embebido
- Realizar las pruebas preliminares para el dispositivo embebido
- Implementar el Dispositivo embebido
- Realizar el diseño del Software de gestión
- Implementar el Software de gestión
- Realizar el diseño del Servidor backend
- Configurar e implementar el Servidor backend

3.3.2 Sprint Backlog

Ahora se procederá a dividir los ítems del Product Backlog seleccionados:

Cuadro 3.18 Sprint 2: Tarea 1

Tarea: Diseñar un esquema electrónico del proyecto
Se deberá realizar un esquema del circuito para el dispositivo embebido con todos los componentes electrónicos involucrados

Cuadro 3.19 Sprint 2: Tarea 2

Tarea: Diseñar la placa electrónica del seguidor solar
Se deberá diseñar la placa electrónica para el seguidor solar del dispositivo embebido

Cuadro 3.20 Sprint 2: Tarea 3

Tarea: Diseñar la placa electrónica del Dispositivo embebido
Se deberá diseñar el circuito electrónico del dispositivo embebido

Cuadro 3.21 Sprint 2: Tarea 4

Tarea: Realizar una prueba preliminar del circuito
Se deberá realizar una prueba de funcionamiento del circuito en una placa de pruebas electrónicas (Protoboard)

Cuadro 3.22 Sprint 2: Tarea 5

Tarea: Construir la placa electrónica del seguidor solar
Se deberá construir la placa electrónica para el módulo seguidor solar del dispositivo embebido

Cuadro 3.23 Sprint 2: Tarea 6

Tarea: Construir la placa electrónica del Dispositivo embebido
Se deberá construir la placa electrónica para el dispositivo embebido

Cuadro 3.24 Sprint 2: Tarea 7

Tarea: Implementar un servidor BLE para el Dispositivo embebido
Se deberá implementar un servidor BLE en el microcontrolador del Dispositivo embebido, este debe contar con lo siguiente: ■ Implementar un nombre del servidor ■ Implementar un nombre del servicio y de característica ■ Controlar desconexión del dispositivo

Cuadro 3.25 Sprint 2: Tarea 8

Tarea: Realizar el diseño a implementar en el Software de gestión
Se deberán determinar los siguientes aspectos del proyecto a considerar: ■ Identificar el tipo de aplicación ■ Considerar un patrón de arquitectua a usar

Cuadro 3.26 Sprint 2: Tarea 9

Tarea: Realizar el diseño de la interfaz visual del Software de gestión
Se deberá diseñar las vistas del software de gestión para las siguientes funcionalidades: ■ Mostrar el índice UV actual ■ Mostrar el historial de lecturas del índice UV

Cuadro 3.27 Sprint 2: Tarea 10

Tarea: Realizar un diseño del Sistema backend
Se deberá determinar lo siguiente: ■ Determinar el diseño de la base de datos (SQL o NoSQL) ■ Determinar un modelo a usar en la base de datos ■ Determinar el servicio de base de datos en Firebase para el sistema

Cuadro 3.28 Sprint 2: Tarea 11

Tarea: Crear un proyecto en Firebase
Se deberá crear un nuevo proyecto en Firebase para el sistema

Cuadro 3.29 Sprint 2: Tarea 12

Tarea: Crear la base de datos en Firebase
Se deberá crear un nuevo servicio de base de datos en tiempo real en Firebase

Cuadro 3.30 Sprint 2: Tarea 13

Tarea: Implementar la vista principal del Software de gestión
En base al diseño de las vistas del software de gestión, se deberá implementar al vista principal de dicho sistema

Cuadro 3.31 Sprint 2: Tarea 14

Tarea: Implementar la conexión Bluetooth al dispositivo embebido
Se deberá implementar la conexión Bluetooth al dispositivo embebido: ■ Deberá conectarse únicamente al dispositivo embebido ■ Deberá leer los valores del dispositivo embebido

Cuadro 3.32 Sprint 2: Tarea 15

Tarea: Mostrar índice UV en la vista
Mostar los datos del índice UV en la vista del software de gestión

Cuadro 3.33 Sprint 2: Tarea 16

Tarea: Implementar conexión a base de datos del Sistema backend
Se deberá implementar la conexión a Firebase (Sistema backend)

Cuadro 3.34 Sprint 2: Tarea 17

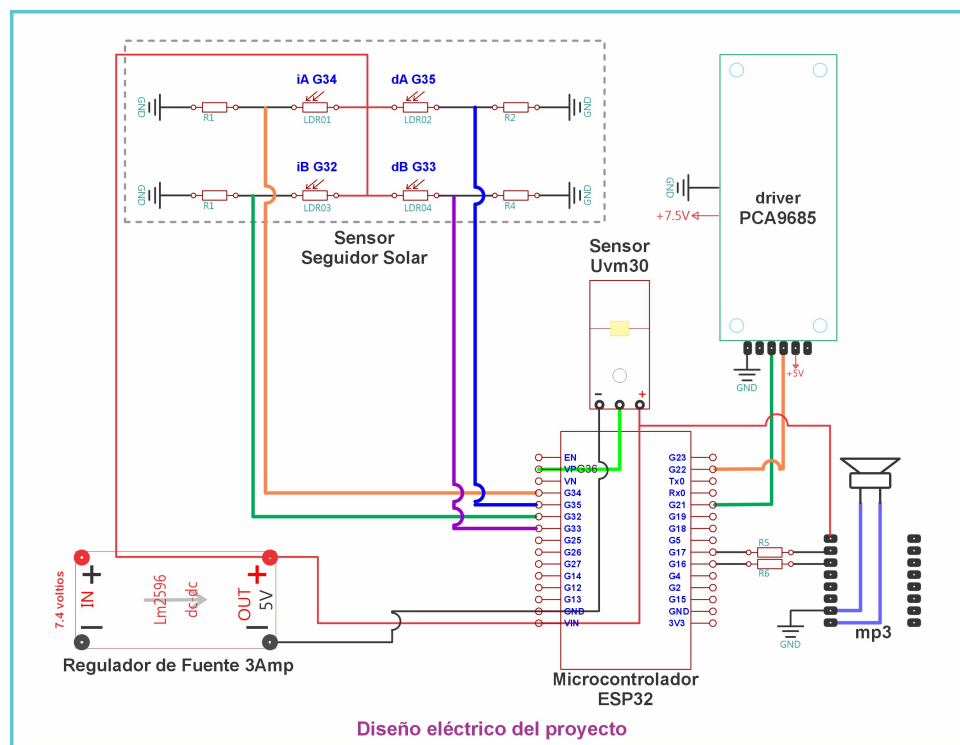
Tarea: Almacenar información en la base de datos
Se deberá enviar la información para almacenarla en la base de datos: ■ Índice UV obtenido ■ Fecha y hora de la lectura ■ Ubicación (Latitud y longitud) de la lectura

3.3.3 Sprint Execution

Tarea 1: Diseñar un esquema electrónico del proyecto

En la Figura 3.9 se diseñó el esquema general del Dispositivo embebido. El circuito funcionará con una fuente de poder de 5 voltios (5V) que alimentará al microcontrolador (ESP32), los sensores y los actuadores; el microcontrolador se encarga de recibir el voltaje de los sensores (sensor UVM30A para la radiación ultravioleta y LDRs para el módulo de seguidor solar) y convertirlos en señales digitales o analógicas para su procesamiento, estos se conectan a los pines definidos en la figura; el microcontrolador también se encarga de coordinar el funcionamiento de los actuadores (el driver PCA9685 para los servomotores y el parlante mp3) en base a la información procesada, de igual manera estos se conectan a los pines del microcontrolador como se muestra en la figura.

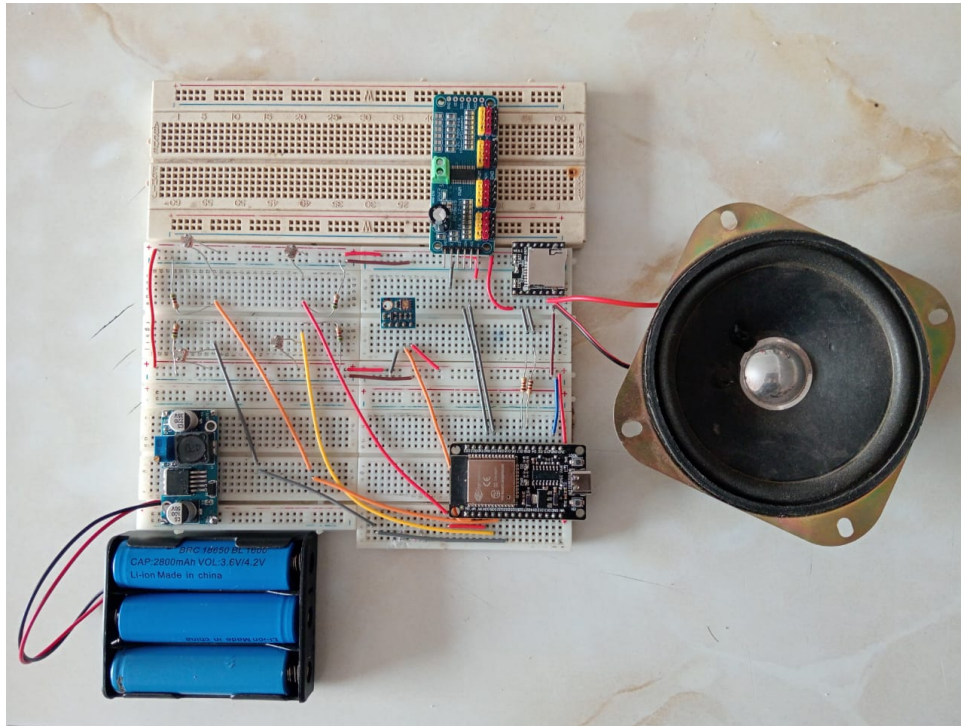
Figura 3.9 Esquema electrónico del circuito para el Dispositivo embebido



Tarea 2: Realizar una prueba preliminar del circuito

Considerando el diseño del circuito, se realizaron las pruebas de funcionamiento utilizando una *placa de pruebas* con los componentes del Dispositivo embebido y verificando su correcto funcionamiento; se puede apreciar en la Figura 3.10 el armado de la placa de pruebas

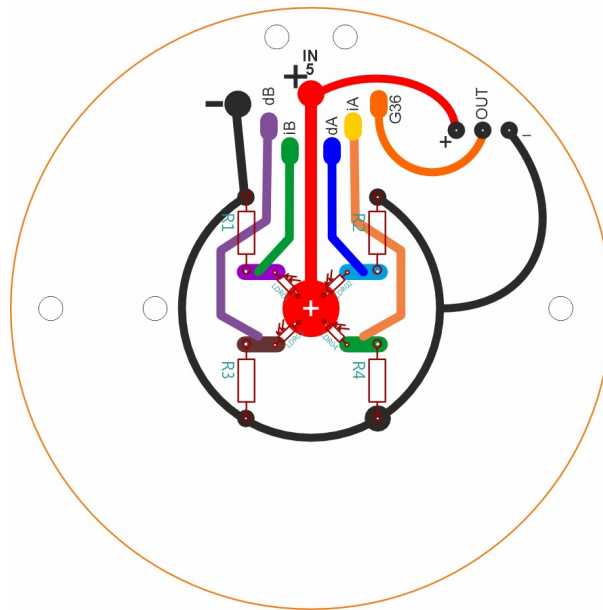
Figura 3.10 Pruebas de funcionamiento en la placa de pruebas



Tarea 3: Diseñar la placa electrónica del seguidor solar

Para el módulo del seguidor solar del Dispositivo embebido, se tiene el siguiente diseño para el circuito:

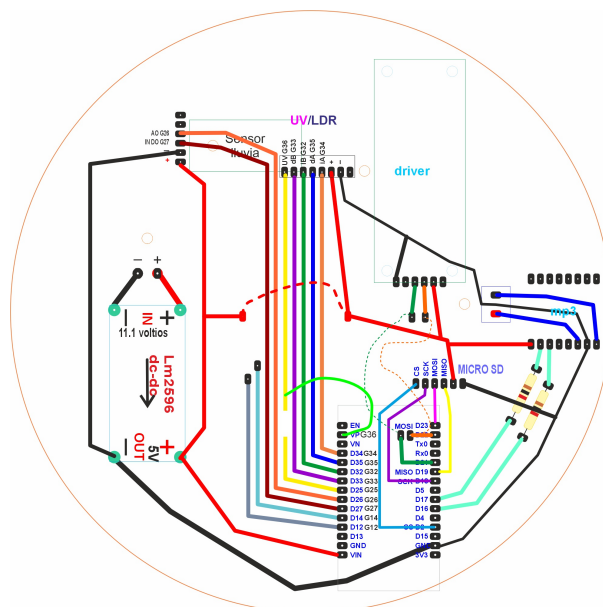
Figura 3.11 Diseño de la placa del módulo de seguidor solar



Tarea 4: Diseñar la placa electrónica del Dispositivo embebido

Para el circuito que contempla todo el Dispositivo embebido, se tiene el siguiente esquema:

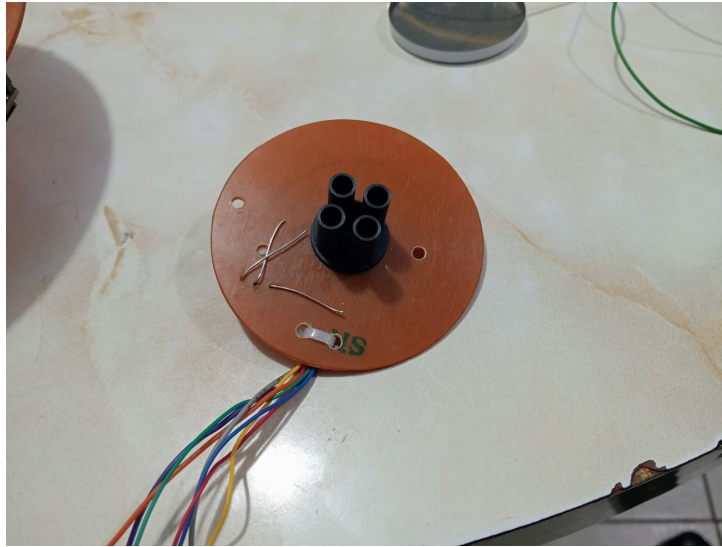
Figura 3.12 Diseño de la placa del Dispositivo embebido



Tarea 5: Construir la placa electrónica del seguidor solar

En base a los requerimientos del Sistema embebido y al diseño de la placa, se construyó el módulo seguidor solar como se muestra en la Figura

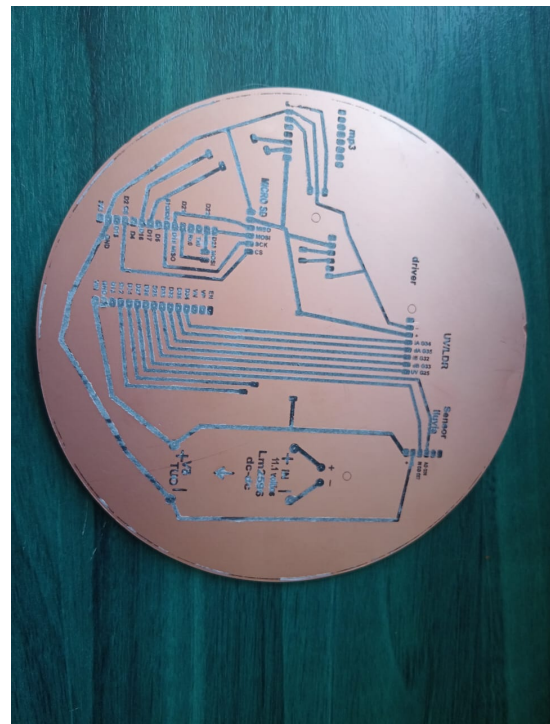
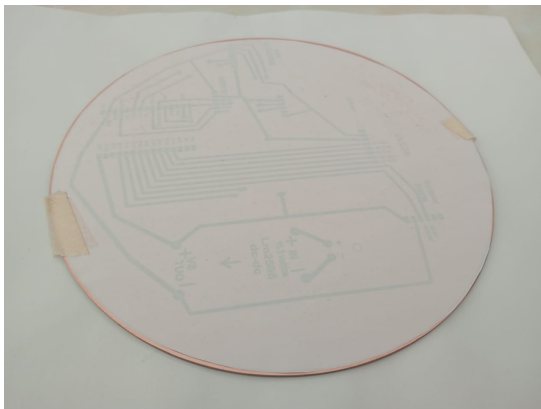
Figura 3.13 Construcción de módulo seguidor solar



Tarea 6: Construir la placa electrónica del Dispositivo embebido

En base al diseño de la placa principal para el dispositivo embebido, se construyó la placa electrónica; primeramente se trazaron las pistas en una placa de cobre:

Figura 3.14 Impresión de placa en lámina de cobre



Tarea 7: Realizar el diseño a implementar en el Software de gestión

Se puede apreciar en el Listado 3.1 el código para implementar el servidor BLE en el microcontrolador; para poder enviar la información, se configura un nombre de servicio (denominado *SERVICE_UUID*), y un nombre de característica que ofrecerá el servicio (denominado *CHARACTERISTIC_UUID*)

```

1  BLEDevice::init("MyESP32");
2  pServer = BLEDevice::createServer();
3  pServer->setCallbacks(new MyServerCallbacks());
4  BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);
5  pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
6      CHARACTERISTIC_UUID,
7      BLECharacteristic::PROPERTY_READ |
8      BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE |
9      BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY
10 );
11
12 pCharacteristic->addDescriptor(new BLE2902());
13 pCharacteristic->setValue("Bluetooth IUV");
14 pService->start();
15
16 BLEAdvertising *pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();
17 pAdvertising->addServiceUUID(SERVICE_UUID);
18 pAdvertising->setScanResponse(true);
19 pAdvertising->setMinPreferred(0x06);
20 pAdvertising->setMinPreferred(0x12);
21 BLEDevice::startAdvertising();

```

Listing 3.1 Configuración BLE

Además, para gestionar la reconexión del servidor en caso se presente una desconexión del Sistema de gestión, se debe implementar una clase de conexión, el cual se vincula en la tercera línea del Listado 3.1; se puede apreciar la implementación de la clase en el Listado 3.2

```

1  class MyServerCallbacks : public BLEServerCallbacks {
2      void onConnect(BLEServer* pServer) {
3          deviceConnected = true;
4      }
5
6      void onDisconnect(BLEServer* pServer) {
7          deviceConnected = false;
8          pServer->startAdvertising();
9      }
10 };

```

Listing 3.2 Manejo de desconexión BLE

Tarea 8: Realizar el diseño a implementar en el Software de gestión

Identificar el tipo de aplicación

El Software de gestión funcionará en un dispositivo *tablet*, el cual se encontrará junto al Dispositivo embebido, y servirá este como pantalla al usuario en el Dispositivo embebido, por lo cual el tipo de aplicación constituye un software *aplicativo móvil*

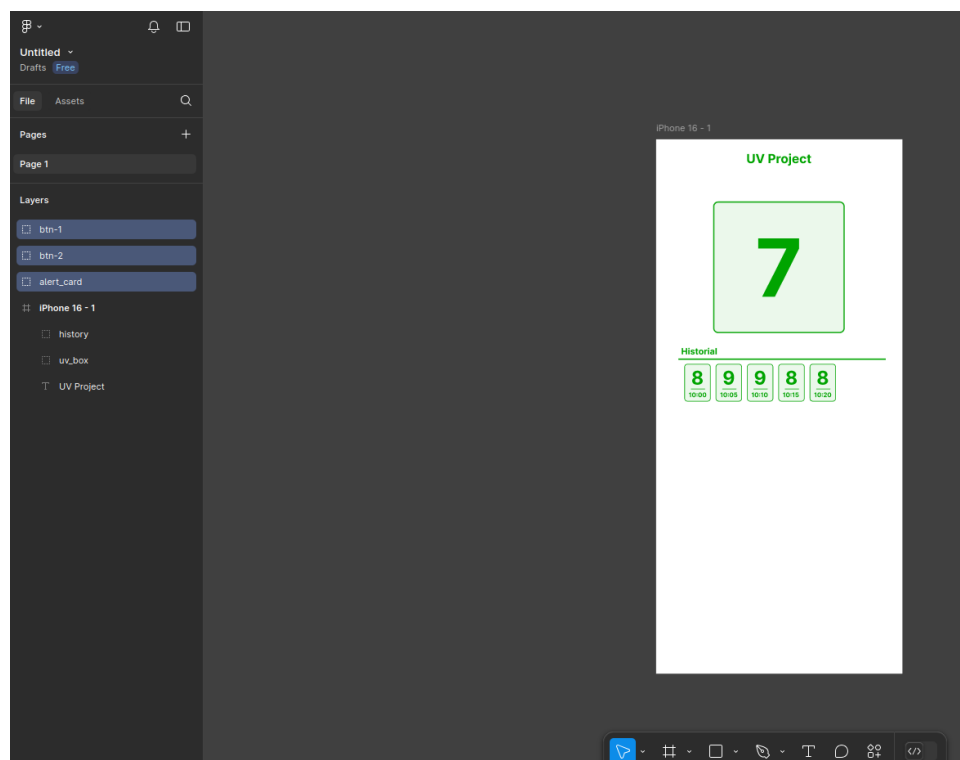
Arquitectura del sistema

Considerando el software separado del Sistema backend, además de que la naturaleza de este es de aplicativo móvil, el cual funcionará principalmente como interfaz visual, se considerará usar una *arquitectura limpia*

Tarea 9: Realizar el diseño de la interfaz visual del Software de gestión

Considerando los requerimientos del Software de gestión se diseñó la siguiente vista principal:

Figura 3.15 Diseño de la vista de interfaz de usuario principal



Para el diseño de la interfaz de usuario, se utilizó la aplicación web Figma, ya que este proporciona funcionalidades de diseño de aplicaciones e interacciones con el usuario.

Tarea 10: Realizar un diseño del sistema backend

Modelo a usar para la transferencia de datos

La base de datos deberá almacenar el índice de radiación UV leído, junto a la fecha y hora de la lectura; adicionalmente, el Software de gestión debe enviar un campo para poder informar al Sistema backend que deberá enviar notificaciones a todos los Sistemas móviles cliente; de esta manera, se tiene el siguiente modelo de transferencia de datos.

- Índice UV
- Fecha y hora de lectura
- Ubicación de lectura (ubicación)
- Campo de notificación

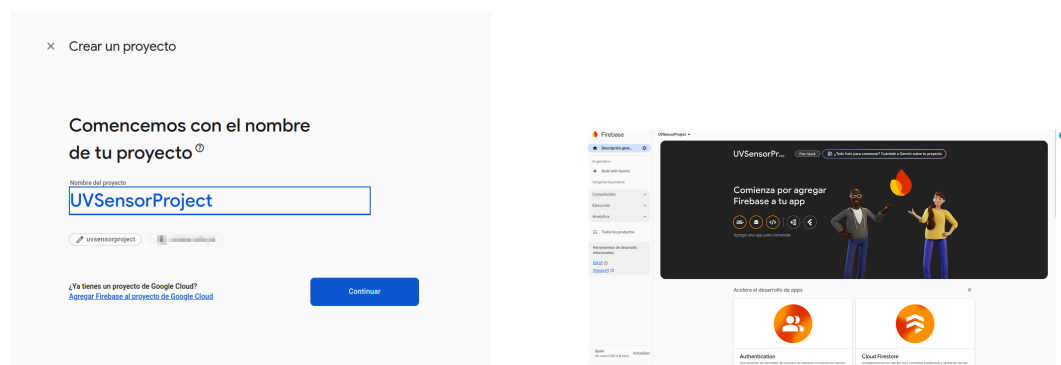
Tipo de base de datos

Considerando que el servicio de Firebase ya proporciona una base de datos propia que utiliza el modelo No Relacional, el modelo de transferencia de datos y la naturaleza del sistema, se considerará utilizar un tipo de base de datos **No relacional**

Tarea 11: Crear un proyecto en Firebase

Se procedió a crear un nuevo proyecto en Firebase para el sistema backend:

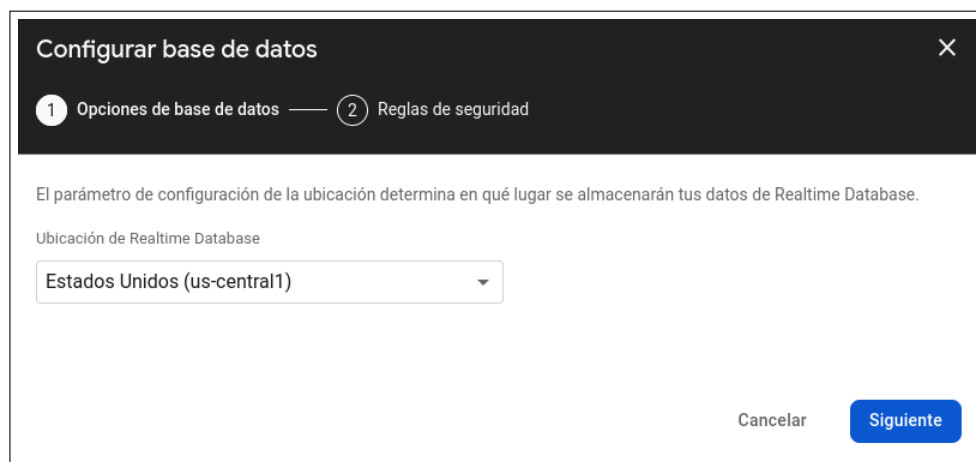
Figura 3.16 Configuración base de datos en Firebase



Tarea 12: Crear la base de datos en Firebase

Se procedió a crear una base de datos en Firebase, para esto se utilizó el servicio de base de datos en tiempo real denominado *Realtime Database*, para esto primero se configura el proyecto como se muestra en la Figura 3.17 (en donde se indica la ubicación más próxima para la base de datos)

Figura 3.17 Creación de base de datos en Firebase



También se deberán especificar las reglas de lectura y escritura de la base de datos (Figura 3.18), en este caso, se indica que no se tendrá acceso ni de lectura ni de escritura, esto se cambiará luego cuando ya se encuentren implementadas las demás funcionalidades del sistema

Figura 3.18 Definición de reglas de base de datos en Firebase



Tarea: 13: Implementar la vista principal del Software de gestión

En base al diseño de las vistas se implementó la vista principal (usando el framework Flutter), teniendo un resultado como se aprecia en la Figura 3.19

Tarea 14: Implementar la conexión Bluetooth al Dispositivo embebido

Para implementar la conexión Bluetooth se utilizó el paquete *flutter_blue_plus*, el cual permite establecer una conexión mediante Bluetooth de baja energía BLE ¹, de esta manera, se añade la funcionalidad de bluetooth. Para poder comunicarse al servidor BLE del Dispositivo embebido, se requiere buscar, en orden, el nombre del Dispositivo BLE (en este caso *MyESP32*), el nombre del servicio que ofrece el servidor y finalmente la característica de dicho servicio; luego de ello se puede conectar a un escuchador de eventos (en este caso de lecturas) para seguidamente procesar la información recibida. Podemos ver la parte central de la conexión en el Listado 3.3.

Figura 3.19 Vista principal inicial del Software de gestión



¹Se puede encontrar información del paquete en <https://pub.dev/packages/flutterblue/plus>

```

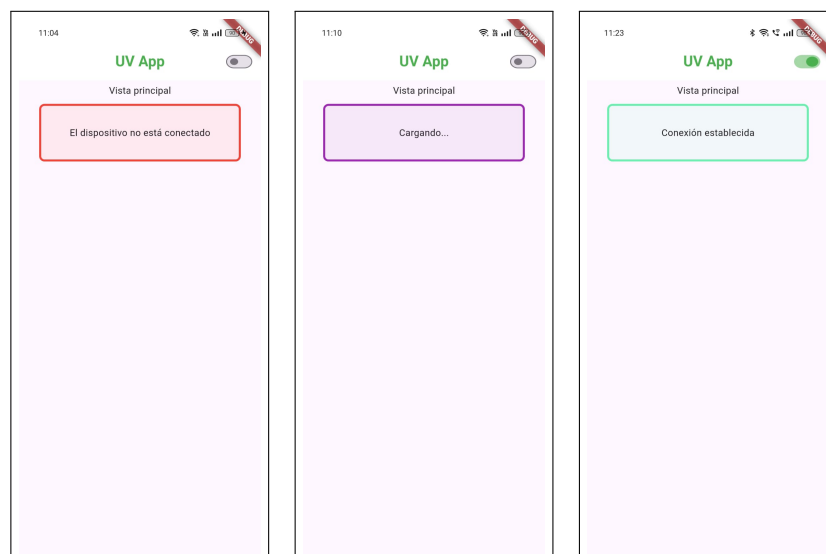
1 Future<Stream<IUVMModel>> bluetoothOn() async {
2   var subscription = FlutterBluePlus.onScanResults.listen((results) async {
3     for(ScanResult result in results){
4       if(result.device.advName == "MyESP32"){
5         _device = result.device;
6         await _device!.connect();
7         var services = await _device!.discoverServices();
8         for(BluetoothService service in services){
9           if(service.uuid.toString() == uuidService){
10            var characteristics = service.characteristics;
11            for(BluetoothCharacteristic characteristic in characteristics){
12              if(characteristic.uuid.toString() == uuidCharacteristic){
13                var target = characteristic;
14                target.setNotifyValue(true);
15                _dataStream = target.onValueReceived.map<IUVMModel>((data) => IUVMModel.
16                  fromInt(int.parse(String.fromCharCode(data))));
17                FlutterBluePlus.stopScan();
18                break;
19              }
20            }
21          }
22        }
23      }
24    });

```

Listing 3.3 Conexión bluetooth en el app

Luego, con la información de la conexión BLE, se configura un componente visual para poder conectarse al Dispositivo embebido desde la interfaz visual, se puede ver el componente en las vistas de la Figura 3.20

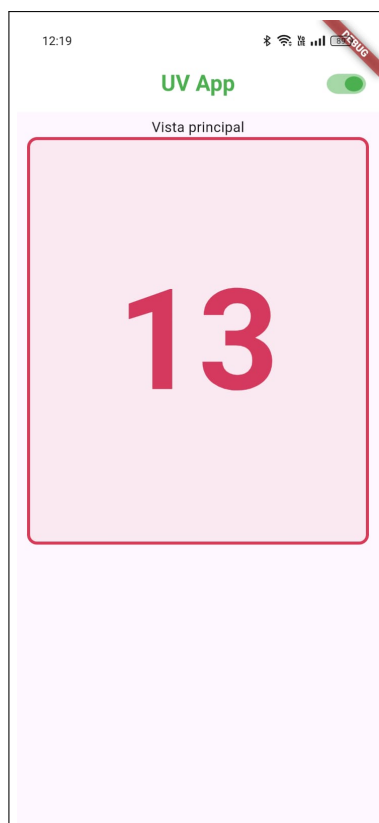
Figura 3.20 Vistas de conexión a Bluetooth del Software de gestión



Tarea 15: Mostrar índice UV en la vista

Teniendo la conexión bluetooth activa, se pueden leer los valores de índice UV que el Dispositivo embebido enviará; en la Figura 3.21 se muestra la vista del IUV en la pantalla.

Figura 3.21 Código para conexión BLE del Software de gestión



Tarea 16: Implementar conexión a base de datos del Sistema backend

Para la conexión al Sistema backend, se usará el paquete de *firebase_core* y de *firebase_database*, el cual nos permiten acceder (proporcionando credenciales de autenticación) a la base de datos del proyecto. En el Listado 3.4 se obtiene una instancia de la base de datos, el cual se utilizará para realizar las lecturas en tiempo real de esta como se muestra en el código de el Listado 3.5.

```
1 DatabaseReference ref = FirebaseDatabase.instance.ref("records");
```

Listing 3.4 Referencia a colección records en Firebase

Luego de ello, se puede (considerando que se está autenticado al Sistema backend) realizar una consulta a la base de datos. Se considera mostrar al cliente las últimas 10

lecturas del día, que se irá actualizando conforme se realicen más lecturas.

```

1 Future<Stream<List<IUVMModel>>> getStreamData() async {
2   DateTime nowDateTime = DateTime.now();
3   int todayAtMidnight = DateTime(nowDateTime.year, nowDateTime.month, nowDateTime.day)
     .millisecondsSinceEpoch;
4   var stream = ref.limitToLast(10).orderByChild("timestamp").startAt(todayAtMidnight).
     onValue.map((DatabaseEvent event){
5     List<IUVMModel> records = [];
6     if(event.snapshot.value == null) { return records; }
7     var val = event.snapshot.value as Map<dynamic, dynamic>;
8     val.forEach((key, value) {
9       var val = value as Map<dynamic, dynamic>;
10      int timestamp = val['timestamp'];
11      DateTime utcdatetime = DateTime.fromMillisecondsSinceEpoch(timestamp, isUtc:
        true);
12      DateTime perudatetime = utcdatetime.toUtc().subtract(const Duration(hours: 5));
13      var valorUV = val['valor'];
14      IUVMModel uvModelData = IUVMModel(value: valorUV, time: perudatetime);
15      records.add(uvModelData);
16    });
17    records.sort((a,b) => a.time.compareTo(b.time));
18    return records;
19  });
20  return stream;
21 }

```

Listing 3.5 Lecturas en tiempo real en la app

Tarea 17: Almacenar información en la base de datos

De igual manera, se puede reutilizar la instancia de la base de datos (Listado 3.4) para almacenar la información cuando se obtenga una lectura, como se muestra en el Listado 3.6, se guarda la información leída en la base de datos

```

1 Future<void> send(IUVMModel iuv, [bool notify = false]) async {
2   try {
3     if (notify == true){
4       await ref.push().set({
5         "valor": iuv.value,
6         "timestamp": iuv.time.millisecondsSinceEpoch,
7         "notify": true,
8       });
9     } else {
10      await ref.push().set({
11        "valor": iuv.value,
12        "timestamp": iuv.time.millisecondsSinceEpoch,
13      });

```

```

14     }
15   } catch (error){
16     throw FirebaseSendFailure();
17   }
18 }

```

Listing 3.6 Envío de data a Firebase

Finalmente se puede ver la información almacenada en el panel de Firebase:

Figura 3.22 Información almacenada en la base de datos



3.3.4 Sprint Review

Finalizado el segundo sprint, se tiene un producto con las siguientes funcionalidades:

- El sistema obtiene el índice de radiación ultravioleta
- El Dispositivo embebido se comunica al Software de gestión (mediante Bluetooth) para enviar los datos leídos del índice UV
- El Software de gestión se comunica al Sistema backend (mediante el protocolo HTTP) para enviar la información a guardar

3.4 Tercer Sprint

3.4.1 Sprint Planning

Objetivo del Sprint

El sistema deberá mostrar al usuario cliente la información del índice de radiación ultravioleta en tiempo real mediante el Software de gestión y el Sistema móvil cliente, además deberá emitir mensajes de alerta cuando la radiación sea elevada (mediante alarma en el Software de gestión y mediante notificaciones en el Sistema móvil cliente)

Selección de Tareas

Para la presente iteración, se seleccionaron los siguientes ítems del Product Backlog:

- Realizar el modelado del Sistema móvil cliente
- Realizar el diseño del Sistema móvil cliente
- Implementar el Sistema móvil cliente

3.4.2 Sprint Backlog

En base a los ítems seleccionados, se dividieron estos en las siguientes tareas:

Cuadro 3.35 Sprint 3: Tarea 1

Tarea: Realizar un diagrama de componentes para el Sistema móvil cliente
Se deberá diseñar un diagrama de componentes correspondiente al Sistema móvil cliente

Cuadro 3.36 Sprint 3: Tarea 2

Tarea: Realizar un diagrama de actividades para el Sistema móvil cliente
Se deberá diseñar un diagrama de componentes correspondiente al Sistema móvil cliente

Cuadro 3.37 Sprint 3: Tarea 3

Tarea: Realizar un diagrama de secuencia para el Sistema móvil cliente
Se deberá diseñar un diagrama de componentes correspondiente al Sistema móvil cliente

Cuadro 3.38 Sprint 3: Tarea 4

Tarea: Determinar la arquitectura del Sistema móvil
Se deberá determinar qué arquitectura se utilizará para el desarrollo del Sistema móvil cliente.
■ Identificar el tipo de aplicación ■ Considerar un patrón de arquitectura a usar

Cuadro 3.39 Sprint 3: Tarea 5

Tarea: Diseñar las vistas del Sistema móvil
Se deberán implementar las vistas para el sistema móvil cliente, considerando los requerimientos que esta debe cumplir

Cuadro 3.40 Sprint 3: Tarea 6

Tarea: Implementar la vista principal para al Sistema móvil
Se deberá implementar la vista principal para el sistema móvil cliente

Cuadro 3.41 Sprint 3: Tarea 7

Tarea: Implementar la conexión al Sistema backend
Se deberá implementar un módulo de conexión al sistema backend en el sistema móvil cliente

Cuadro 3.42 Sprint 3: Tarea 8

Tarea: Mostrar el índice UV en tiempo real
Se deberá implementar un componente que muestre la lectura de el índice UV en tiempo real de la base de datos del sistema backend

Cuadro 3.43 Sprint 3: Tarea 9

Tarea: Mostrar el historial de lecturas del día
Se deberá implementar un componente que muestre el historial de lecturas del índice UV de la base de datos del sistema backend

Cuadro 3.44 Sprint 3: Tarea 10

Tarea: Construir una cloud function para envío de notificaciones
Se deberá implementar una <i>Cloud Function</i> para enviar push notificaciones al sistema móvil cliente cuando el índice que se almacenará en la base de datos sea mayor a un umbral

Cuadro 3.45 Sprint 3: Tarea 11

Tarea: Implementar vistas de medidas de prevención
Se deberá implmentar una vista para mostrar al cliente las medidas de prevención ante la radiación ultravioleta

Cuadro 3.46 Sprint 3: Tarea 12

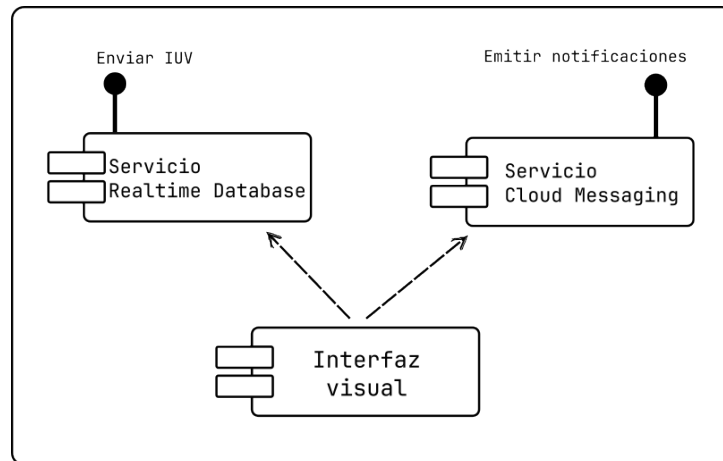
Tarea: Implemantar vista de fototipo de piel
Se deberá implementar una vista para el cliente para mostrar los fototipos de piel y sus respectivas descripciones

3.4.3 Sprint Execution

Tarea 1: Realizar un diagrama de componentes para el Sistema móvil cliente

Se diseñó el diagrama de componentes mostrado en la Figura en base a los requerimientos del sistema móvil cliente

Figura 3.23 Diagrama de componentes para el Sistema móvil cliente



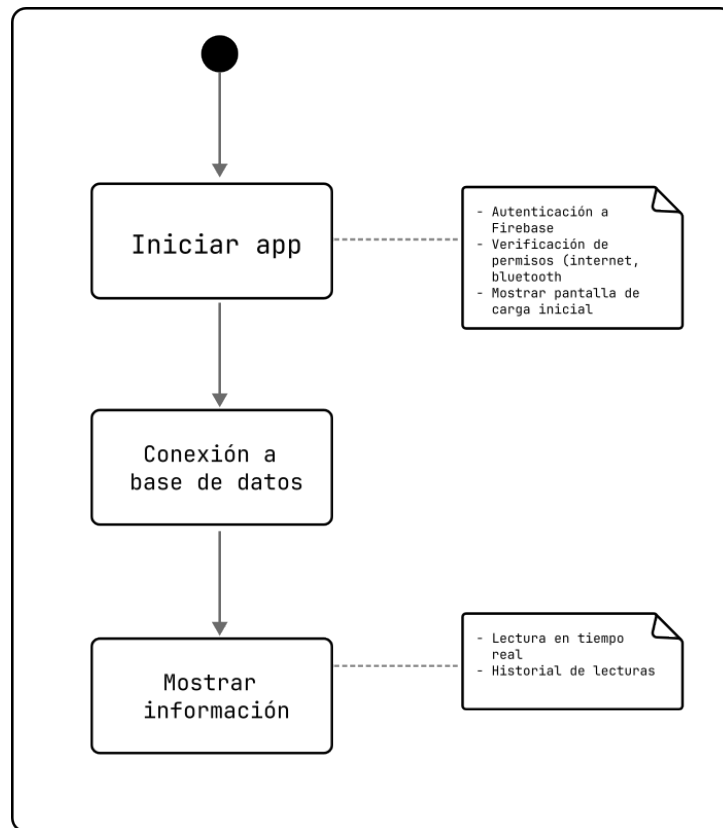
Tarea 2: Realizar un diagrama de actividades para el Sistema móvil cliente

Se diseñó el diagrama de actividades para el sistema móvil, considerando las funcionalidades principales que deberá realizar.

Tarea 3: Realizar un diagrama de secuencia para el Sistema móvil cliente

Considerando al sistema móvil cliente y a los demás componentes del sistema general, se diseñó el diagrama de secuencia mostrado en la Figura 3.25

Figura 3.24 Diagrama de actividades para el Sistema móvil cliente



Tarea 4: Determinar la arquitectura del Sistema móvil

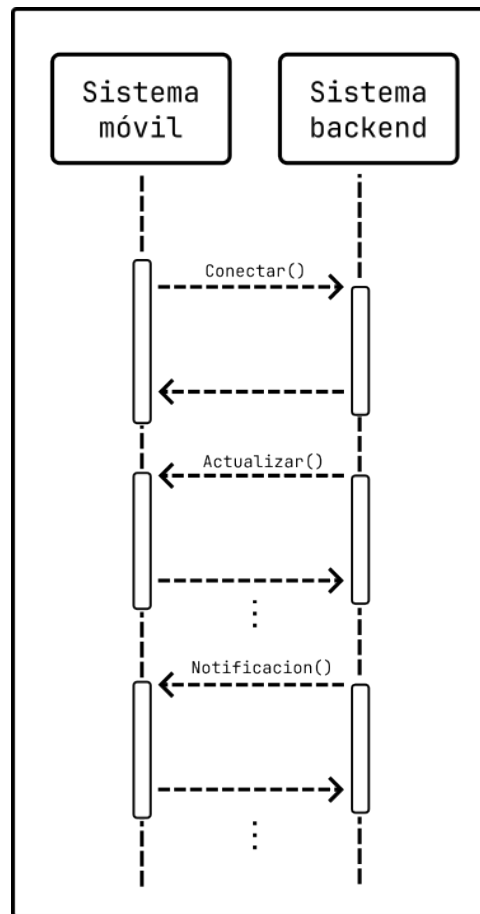
Identificar el tipo de aplicación

El Sistema móvil constituye un software de tipo *aplicación móvil*, el cual será utilizado por el usuario cliente.

Arquitectura del sistema

Para el desarrollo del sistema se utilizará una *arquitectura limpia*.

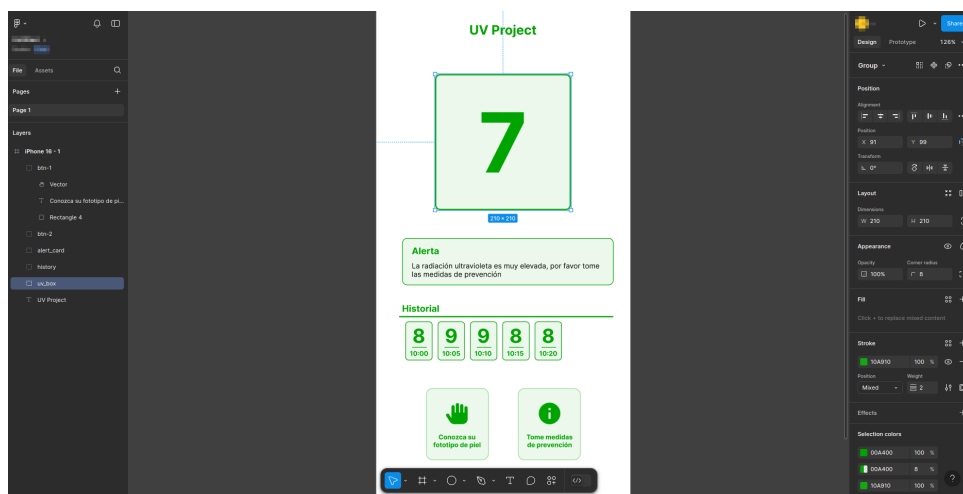
Figura 3.25 Diagrama de secuencia para el Sistema móvil cliente



Tarea 5: Diseñar las vistas del Sistema móvil

Se construyeron las siguientes vistas para el Sistema móvil

Figura 3.26 Diseño de vistas del Sistema móvil cliente



Tarea 6: Implementar la vista principal para el Sistema móvil

Se implementó la siguiente vista para el sistema móvil como se muestra en la Figura 3.27.

Figura 3.27 Construcción de la vista principal del Sistema móvil cliente



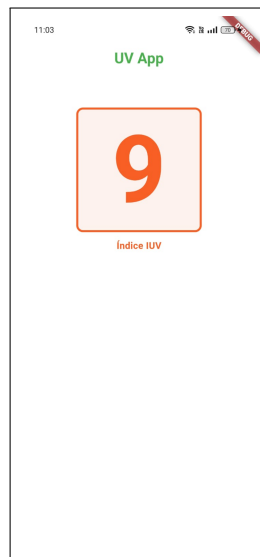
Tarea 7: Implementar la conexión al Sistema backend

Se reutilizó la instancia de la base de datos de Firebase proporcionada por el paquete *firebase_database*, como se realizó en la Figura 3.5 y la función de la Figura 3.6

Tarea 8: Mostrar el índice UV en tiempo real

Con la conexión realizada, se construyó el componente para mostrar el índice UV en tiempo real en el Sistema móvil cliente como se muestra en la Figura 3.28.

Figura 3.28 Construcción del componente para mostrar el índice UV



Tarea 9: Mostrar el historial de lecturas del día

Se reutilizó el código de la Figura 3.1 para obtener el historial de lecturas del día, finalmente se construyó el componente como se muestra en la Figura 3.29.

Figura 3.29 Construcción del componente para mostrar historial de lecturas UV



Tarea 10: Construir una cloud function para envío de notificaciones

Se implementó una *Cloud Function* para la gestión de notificaciones en base al envío del índice UV al Sistema backend, el código se muestra en el Listado 3.7.

```
1  const functions = require('firebase-functions');
2  const admin = require('firebase-admin');
```

```

3
4  const { log, error } = require("firebase-functions/logger");
5
6  admin.initializeApp();
7
8  exports.onNotifySend = functions.database.onValueCreated("records/{id}", async (event)
9    => {
10     const data = event.data.val();
11     const { notify, valor } = data;
12     log(notify);
13     log(valor);
14
15     if (notify != null && (notify == true || notify == "true") && valor != null) {
16       const message = {
17         notification : {
18           title: 'El valor del Indice UV es muy alto',
19           body: 'El Indice UV: ${valor} es muy alto, por favor toma las precauciones
20             necesarias',
21           topic: 'uv',
22         }
23       }
24       try {
25         log("Enviando el mensaje")
26         await admin.messaging().send(message);
27       } catch (error){
28         error("No se pudo enviar el pushNotification: ${error}")
29       }
30     }
31
32   })

```

Listing 3.7 Cloud function para notificaciones

Finalmente, se envió el código a producción en el Sistema backend:

Figura 3.30 Cloud Function en el Sistema backend

Función	Activador	Versión	Solicitudes (24 h)	Cantidad mínima o máxima de Instancias	Tiempo de espera
sendNotificationsOnIUVSend	ref.write records/{id}	v1			1 min

Elementos por página: 25 1-1 de 1

Tarea 11: Implementar vista de medidas de prevención

Considerando las medidas preventivas ante la elevada radiación ultravioleta, se implementó la siguiente vista en el Dispositivo móvil cliente y en el Software de Gestión, estos se muestran en la Figura 3.31

Figura 3.31 Vista de medidas de prevención



Tarea 12: Implementar vista de fototipo de piel

En base a los diferentes fototipos de piel se implementó la vista como se muestra en la Figura 3.32

Figura 3.32 Vistas de fototipo de piel



3.4.4 Sprint Review

Finalizado el tercer sprint, se tiene un producto con las siguientes funcionalidades:

- El sistema muestra en tiempo real el índice UV
- El sistema muestra en tiempo real el historial de lecturas UV por día
- El sistema genera notificaciones cuando la radiación UV es muy alta

Capítulo 4

Resultados y análisis

4.1 Resultado del Proyecto

Finalizada la etapa de desarrollo del proyecto, se solventa la problemática mediante un sistema de registro y comunicación sobre el Índice de Radiación Ultravioleta a la población, además de la alerta en tiempo real ante la elevada radiación. La elaboración del sistema ofrece una comunicación en tiempo real de los valores del Índice UV así como una alerta cuando la radiación es muy alta; en comparación con otros sistemas, el presente es una solución más económica ¹. Inicialmente el sistema obtiene el Índice de radiación UV, se espera que el sistema realice una lectura confiable para que los usuarios reciban información con un bajo margen de error mínimo, para ello se debe verificar el Índice UV del sistema con alguna fuente de información confiable. Se realizaron pruebas de funcionamiento inicialmente como se muestra en la Figura 4.1, la información leída será comparada con las fuentes de información, de manera de que se pueda fácilmente calibrar las lecturas. Una fuente de información es proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), este proporciona el nivel de radiación mediante el Índice UV, el cual se actualiza diariamente, esta información se puede acceder a través de su página en internet (Figura 4.2)

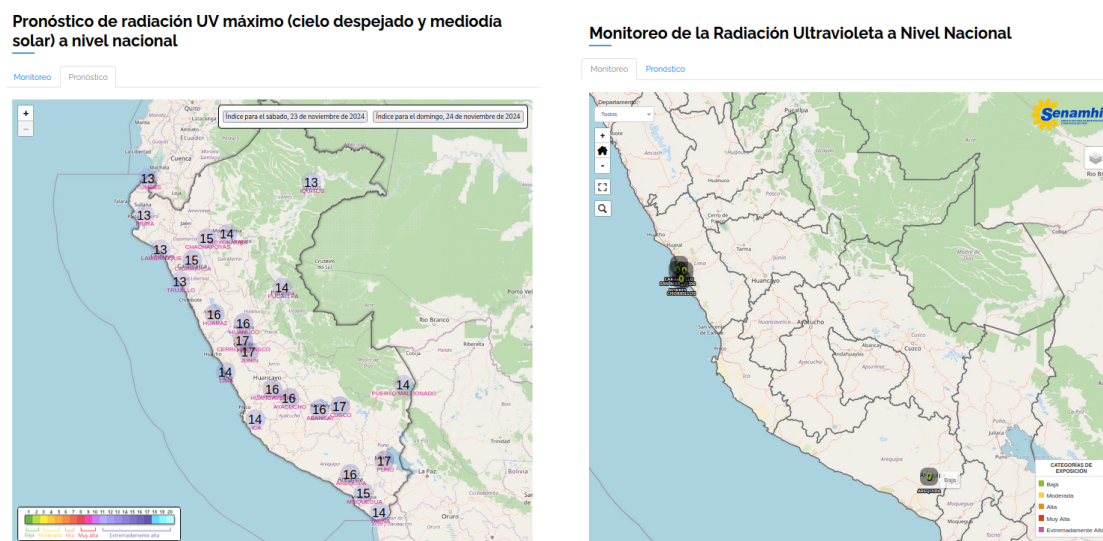
¹Se puede apreciar los costos de implementación e el Cuadro 4.4 con respecto a costos de sistemas especializados en el Cuadro 4.1, pero considérese las funcionalidades del sistema implementado con respecto a las de los dispositivos especializados en base a la solución del problema de la investigación

Figura 4.1 Pruebas de funcionamiento del sistema



Se puede apreciar que el SENAMHI ofrece información de pronóstico del Índice UV para el día actual y el día siguiente a la fecha, esta información se puede tomar como base para la verificación de la lectura del sensor del sistema. Cabe mencionar que la página web actualmente está incluyendo el monitoreo del Índice UV, pero este se encuentra aún en implementación (este solamente comprende monitoreo, mas no de alerta a los usuarios); por ejemplo, no se tiene información actualmente para la ciudad del Cusco, por lo que la fuente para corroborar la información se centrará en el pronóstico diario que realiza la página. Como se puede apreciar en la Figura 4.2, el pronóstico del máximo valor para el índice UV es de 17 para la ciudad del Cusco.

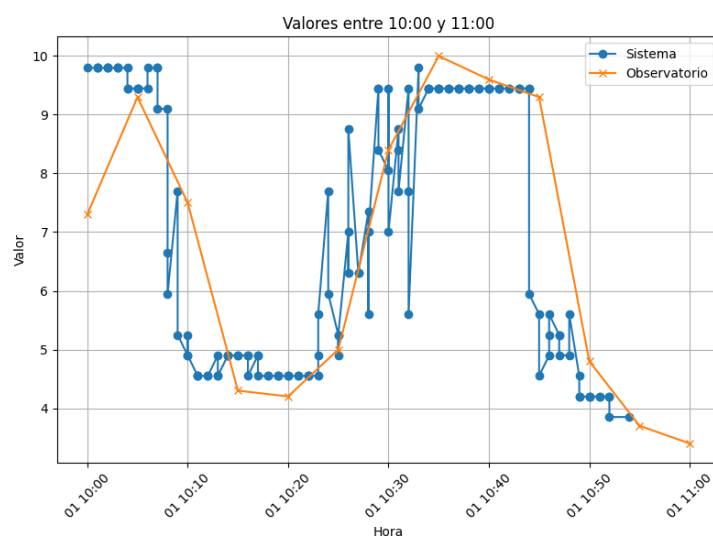
Figura 4.2 Página de información del Índice UV del SENAMHI



Nota. Visitado el 23 de Noviembre del 2024

Como una segunda fuente de información se obtuvo bajo autorización, los registros correspondientes al 23 de noviembre del 2024 del Índice de Radiación UV para la ciudad del Cusco al Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Para lo cual se puso en funcionamiento al equipo durante el intervalo de 10:00 a 11:00 horas, periodo en el cuál la radiación solar es muy elevada. Junto a las lecturas del Observatorio Meteorológico se tienen los siguientes valores en la Tabla 4.2 y en la Tabla 4.3 (Revisar Anexos), se puede visualizar las lecturas en la Figura 4.3

Figura 4.3 Gráfica de líneas para las lecturas del sistema y el Observatorio Meteorológico



Los cambios en las lecturas se deben principalmente a la nubosidad en el periodo cuando se realizaron las lecturas, esto permitió verificar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones ambientales.

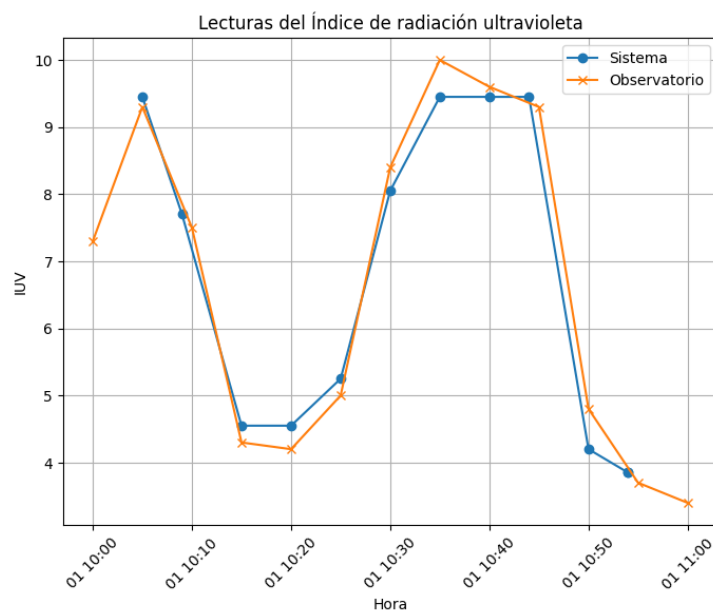
Para evaluar la precisión del sistema, se calcularon las métricas de *Error Absoluto Medio (MAE)* y *Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)* con los datos obtenidos del Observatorio Meteorológico y los del sistema. Para poder calcular el Error Medio Absoluto y la Raíz del Error Cuadrático Medio se aplicaron las fórmulas correspondientes:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (4.1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}. \quad (4.2)$$

Para realizar una comparación de los valores leídos en base al Observatorio Meteorológico, se tomaron en consideración las medidas del sistema que son más próximas en tiempo que el del Observatorio, esto considerando que las medidas se hicieron en las mismas condiciones meteorológicas. Se tomó también esta medida debido a que los datos atípicos se ven influenciados por la nubosidad en el instante que se realizó la medición. Eliminando las mediciones lejanas en tiempo se tiene el gráfico de la Figura 4.4.

Figura 4.4 Limpieza de datos atípicos



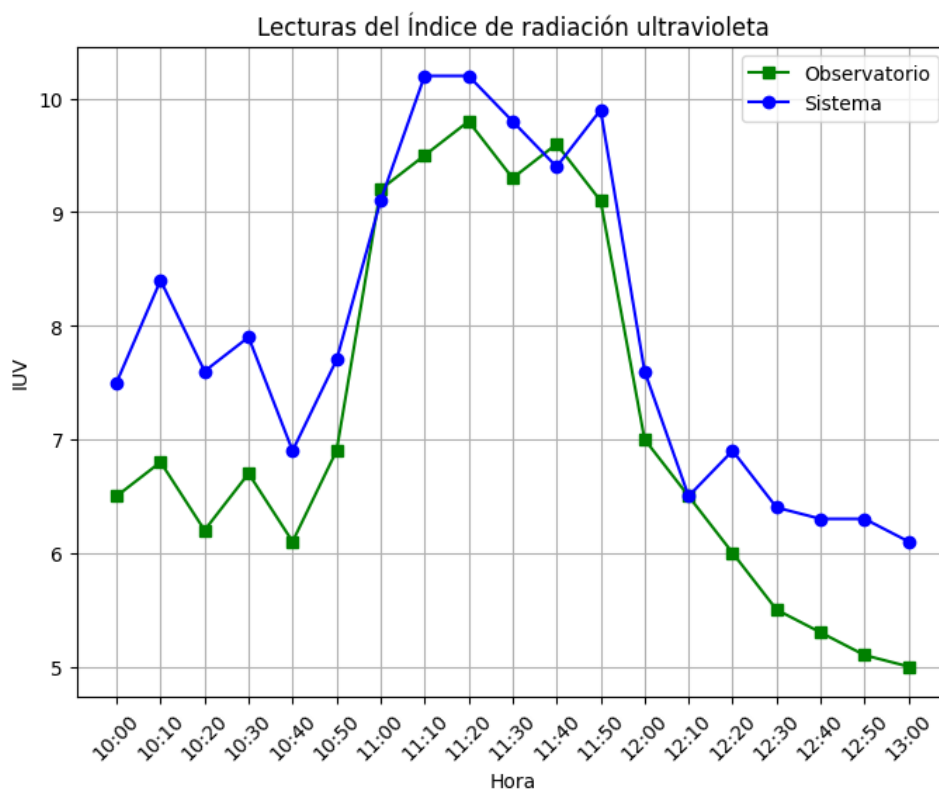
Finalmente, se determinan los valores del Error Absoluto Medio y la Raíz del Error Cuadrático Medio, teniendo los siguientes resultados:

$$\text{MAE} = 0,13469$$

$$\text{RMSE} = 0,36700$$

Las lecturas obtenidas por el sistema se vieron afectados mayormente por la nubosidad durante la prueba, por lo que fue necesario poner en funcionamiento al sistema durante más tiempo. Para validar la precisión del sistema en un rango de hora más amplio, se puso en funcionamiento al sistema durante 5 días en el horario de 10:00 a 13:00 horas y promediando las medidas realizadas por este. De igual manera, se promediaron las lecturas realizadas por el Observatorio en el mismo lapso de tiempo. Tomando las medidas realizadas solamente en los mismos intervalos de tiempo (5 minutos), se tienen las lecturas correspondientes a la Figura 4.5.

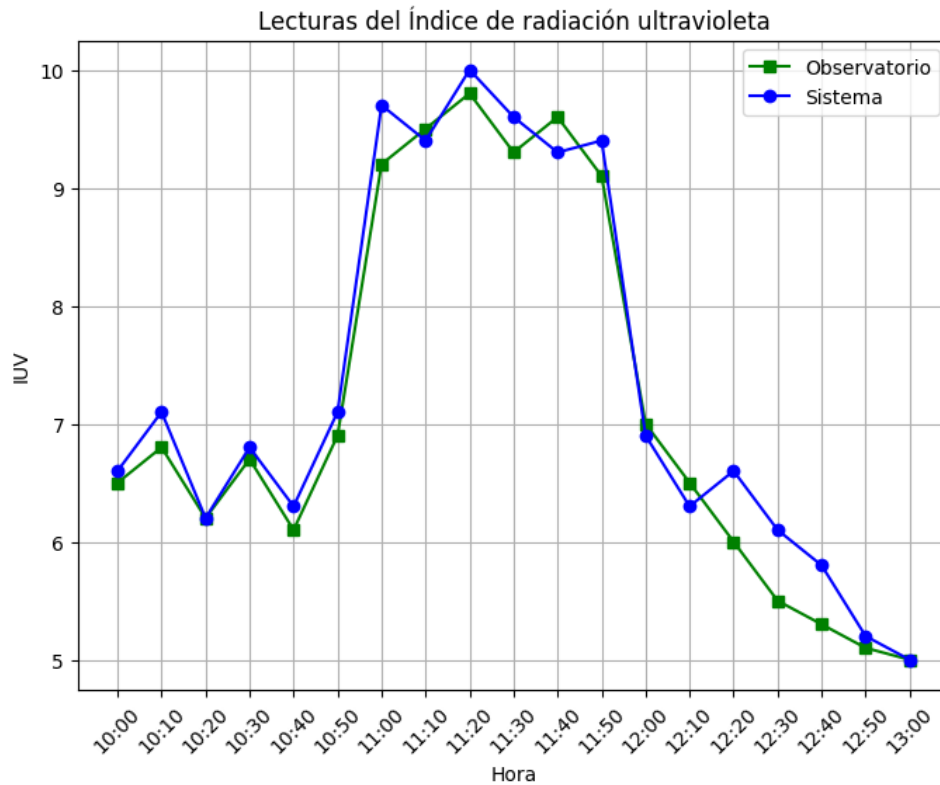
Figura 4.5 Promedio de lecturas del Índice UV



Se puede apreciar que las lecturas del sistema difieren de las medidas dadas por el Observatorio, para lo cual se procedió a realizar una calibración de los sensores (el sensor

UV y los sensores LDR del módulo seguidor solar), esto para poder obtener una lectura más fiel a la del Observatorio. Luego de ello se tienen las siguientes medidas dadas en la Figura 4.6

Figura 4.6 Promedio de lecturas del Índice UV luego de calibración



En cuanto a la precisión, se tienen las siguientes medidas de error:

$$\text{MAE} = 0,0942$$

$$\text{RMSE} = 0,3069$$

Mediante una calibración correcta de los sensores del sistema, se puede obtener una medida más cercana a la realizada por el centro meteorológico. También se puede apreciar que el módulo de seguidor solar permite mantener la precisión en las horas donde hay una mayor inclinación del sol con respecto al sensor.

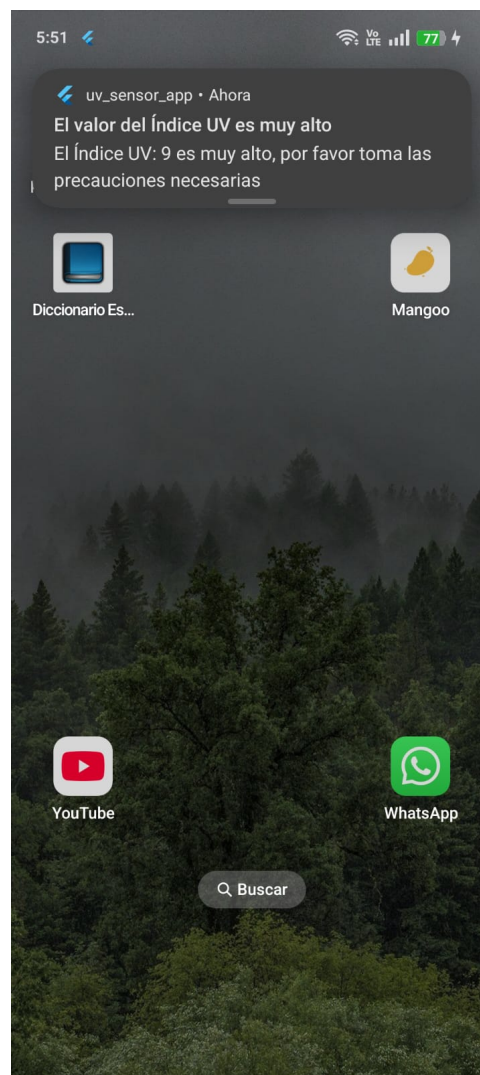
Finalmente, para la prueba de funcionamiento, se instaló el sistema en la Institución Educativa Fortunato L. Herrera como se muestra en la Figura 4.7. Se pudo apreciar el impacto del sistema en el usuario mediante la información del Índice UV en tiempo real, además de la alerta que el sistema generó ante el elevado valor.

Figura 4.7 Funcionamiento del sistema



Para la alerta en el sistema, el sistema tiene la capacidad de responder en tiempo real, mostrando información en la Interfaz visual del dispositivo y en el Dispositivo móvil cliente y generando las alertas al instante en este último (Figura 4.8). Para ello el sistema cuenta con los servicios de base de datos en tiempo real y mensajería del Servidor backend (Correspondiente a Firebase), permitiendo una comunicación y alerta óptima en consumo y en economía.

Figura 4.8 Generación de alerta mediante notificación



Conclusiones

- Se logró diseñar y construir un dispositivo embebido equipado con un sensor de radiación ultravioleta y un módulo seguidor solar, capaz de medir y registrar niveles de exposición con un error absoluto medio de 0.0942 y una raíz de error cuadrático medio de 0.3069 unidades
- Se implementó un sistema IoT para la comunicación instantánea de la información del sistema utilizando la tecnología de bluetooth BLE y mediante WiFi, permitiendo un medio de comunicación flexible y óptimo en consumo energético para el envío de información
- Se desarrolló un sistema de alerta e información en tiempo real dirigido a los usuarios ante un elevado Índice de Radiación Ultravioleta, mediante el uso de notificaciones en los dispositivos móviles, lográndose un costo de 802.4 nuevos soles en su implementación; el cual representa una solución más económica con respecto a las diferentes herramientas para solventar el problema

Recomendaciones

- Implementar un sistema de lectura del Índice de radiación ultravioleta con diferentes módulos de sensado distribuidos en una determinada región, centralizar los datos en un centro de monitoreo y alerta
- Implementar un sistema de predicción del Índice de radiación ultravioleta en tiempo real en base a historial de lecturas acumulativas diarias

Anexos

Cuadro 4.1 Costos de diversas herramientas para el monitoreo de la radiación ultravioleta

Equipo	Proveedor	Precio (S/.)	Fuente
Estación meteorológica inalámbrica RK900-05 - RIKA	AgroMarket	5000	(AgroMarket, 2025)
Estación meteorológica inalámbrica HP2550	Kusitest	3350	(Kusitest, 2025a)
Estación meteorológica ultrasónica automatizada RK900-10	Kusitest	13800	(Kusitest, 2025b)

Cuadro 4.2 Medidas obtenidas del Centro meteorológico de la UNSAAC

Hora de lectura	Valor (IUV)
10:00	7.3
10:05	9.3
10:10	7.5
10:15	4.3
10:20	4.2
10:25	5.0
10:30	8.4
10:35	10.0
10:40	9.6
10:45	9.3
10:50	4.8
10:55	3.7
11:00	3.4

Cuadro 4.3 Lecturas IUV del sistema

Tiempo (HH:MM)	Valor
10:02	18
10:04	18
10:06	17
10:08	16
10:10	5
10:12	3
10:14	4
10:16	3
10:20	3
10:22	3
10:24	7
10:26	15
10:28	11
10:30	10
10:32	12
10:34	17
10:36	17
10:38	17
10:40	17
10:42	17
10:44	7
10:46	6
10:48	6
10:50	2
10:52	2
10:54	1

Cuadro 4.4 Costos de implementación del Sistema

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Hardware				
Microcontrolador ESP32	Placa de desarrollo	1	40.00	40,00
Microcontrolador de servomotor	Módulo controlador de servomotor	1	38.00	38,00
Amplificador de audio	Módulo que aumenta la potencia de audio	1	8.00	8,00
Regulador de voltaje	Controla el voltaje en el dispositivo	2	8.00	16,00
Lector de memoria	Módulo que lee contenido de memoria SSD	1	12.00	12,00
Servomotor analógico	Motores con rotación precisa	3	25.00	75,00
Sensor UV	Dispositivo que detecta la radiación ultravioleta	1	80.00	80,00
Sensor LDR	Sensor que mide la luz ambiente	4	1.00	4,00
Sensor de lluvia	Sensor detector de lluvia	1	15.00	15,00
Protoboard	Placa de pruebas electrónicas	2	10.00	20,00

Continúa en la siguiente página ...

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Resistencia	Componente que controla flujo de corriente eléctrica	4	0.10	0,40
Plug	Puerto de entrada de corriente continua	1	2.00	2,00
Acrílico	Estructura de acrílico	1	40.00	40,00
Parlante	Emite audio	1	15.00	15,00
Portabatería	Módulo para colocar la batería	1	5.00	5,00
Batería	Fuente de energía	3	14.00	42,00
Transformador 12V, 3A	Conversor de voltaje	1	28.00	28,00
Software				
Database Firebase	Servicio de base de datos en tiempo real	2 meses	56.00	112,00
Materiales y suministros				
Materiales de oficina	Papelería, impresiones, etc.	1	200.00	200,00
TOTAL				S/. 802.40

Referencias

- AgroMarket. (2025). *Estación meteorológica inalámbrica RK900-05 - RIKA*. Descargado de <https://agromarket.pe/home/1949--estacion-meteorologica-inalambrica-rk900-05-rika.html> (Accedido el 7 de abril del 2025)
- Alfaro, L. (2016). Pronóstico con cobertura nacional del índice de radiación solar ultravioleta. SENAMHI.
- Amazon Web Services. (2024). *¿qué es flutter?* Descargado de <https://aws.amazon.com/what-is/flutter/> (Accedido el 6 de mayo de 2025)
- Android. (2024). *Get started with the sdk*. Descargado de <https://developer.android.com/studio> (Accedido el 14 de mayo de 2025)
- Baz Alonso, A., Ferreira Arttime, I., Álvarez Rodríguez, M., y García Baniello, R. (2009). *Dispositivos móviles y su clasificación*.
- Bohórquez-Ballén, J., y Pérez Mogollón, J. F. (2007). Radiación ultravioleta. *Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular*, 5(9), 97–104.
- Burhan. (2018). Iot elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey. *sensors*, 18(9), 2796.
- Cambridge University Press. (2024). *real-time*. Descargado de <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/real-time> (Cambridge Dictionary. Accessed: 2025-05-16)
- Cameron N. (2023). *Esp32 formats and communication*. Apress.
- Chorley, R., y Barry, R. (2004). *Atmosfera, tempo e clima*. Porto Alegre: Editora Bookman.
- Deiry Marín, A. P. (2005, Octubre). Filtros solares. características, tipos y requerimientos. , 24.
- EEA. (2023). *What is the current state of the ozone layer?* (Inf. Téc.). Agencia Europea del Medio Ambiente.

- Farrukh Afag, H. M. (2001, October). Effects of solar radiation on cutaneous detoxification pathways. , 61-69.
- Florián, A. M. (n.f.). *Tipos de piel y susceptibilidad a lesión por exposición a la luz solar*. https://www.researchgate.net/publication/215489957_Tipos_de_piel_y_susceptibilidad_a_lesion_por_exposicion_a_la_luz_solar.
- Francesco Zaratti, R. F. (2003). *La radiación ultravioleta en bolivia*. Laboraorio de Física de la Atmósfera de Bolivia.
- González-Púmariega, M., Tamayo, M. V., y Sánchez-Lamar, A. (2009). La radiación ultravioleta. su efecto dañino y consecuencias para la salud humana. *Theoria*, 18(2), 69–80.
- Google. (2024). *Android operating system*. Descargado de <https://source.android.com/docs/core/architecture> (Accedido el 14 de mayo de 2025)
- Hoyos Maddelainne, F. L. (2013). Tipos de radiación, aplicaciones, beneficios y riesgos. *Revista de Actualización Clínica*.
- Hugh Young, L. F., Roger Freedman. (2018). *Física universitaria con física moderna* (1.^a ed., Vol. 1). Pearson.
- Hurtado de Barrera, J. (2021). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo xxi. *Redalyc*. Descargado de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- IBM. (2023). *¿qué es el desarrollo de aplicaciones móviles?* Descargado de <https://www.ibm.com/topics/mobile-application-development> (Accedido el 14 de mayo de 2025)
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press Canada.
- Kusitest. (2025a). *Estación meteorológica inalámbrica con pantalla a color, conexión WIFI, HP2550* . Descargado de <https://www.kusitest.pe/estacion-meteorologica-inalambrica-con-pantalla-color-conexion-wifi-hp2550> (Accedido el 7 de abril del 2025)
- Kusitest. (2025b). *Estación meteorológica ultrasónica automatizada, RK900-10* . Descargado de <https://www.kusitest.pe/estacion-meteorologica-ultrasonica-automatizada-rk900-10> (Accedido el 7 de abril del 2025)
- Lozano, L. A. (2016). *Pronóstico con cobertura nacional del Índice de radiación solar ultravioleta* (Inf. Téc.). Servicio Nacional de Metereología e Hidrología del Perú.

- Martínez, M. (2016). Radiación solar - conceptos y aplicaciones.
- Mayor, M. d. M. B., y Arjona, J. A. A. (2001). Radiación ultravioleta y cáncer de piel. consejos preventivos. *Radiobiología: Revista electrónica*, 1(2), 15–17.
- McKinlay A.F. and Diffey B.L. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE Journal*, 6(1), 17-22.
- Observatorio Global del Cáncer. (2020, March). *Globocan 2020*.
- Okediran O. (2014). *Mobile Operating Systems and Application Development Platforms: A Survey*.
- Organizacion mundial de la salud. (2003). Indice uv solar mundial.
- Pinares Gamarra, C. E. (2022). *Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco* (Tesis de Master no publicada). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico* (7.^a ed.). McGraw-Hill.
- Quiñones, S. (2024, 28 de Enero). *Calor y radiación: ¿por qué el Perú tiene el índice de rayos UV más alto del mundo?* . El Peruano. Descargado de <https://www.elperuano.pe/noticia/234514-calor-y-radiacion-por-que-el-peru-tiene-el-indice-de-rayos-uv-mas-alto-del-mundo-informe>
- Rayers A., Salam S. (2019). *Internet of things from hype to reality* (2.^a ed.). Springer.
- Red Hat. (2024). *¿Qué son las interfaces de programación de aplicaciones (API)?* Descargado de <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces> (Accedido el 13 de mayo de 2025)
- Rubin, K. (2013). *Essential Scrum. A practical guide to the most popular agile process* (1.^a ed.). Addison-Wesley.
- Sánchez, F. (2006). Consideraciones sobre la capa de ozono y su relación con el cáncer de piel. *Revista médica de Chile*, 134(9), 1185–1190.
- Schweers, R. (2002). Descripción en vhdl de arquitecturas para implementar el algoritmo cordic.
- Secretary-General of the United Nations. (1987). *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. United Nations. Descargado de https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-2-a&chapter=27&clang=en (Accedido el 26 de Octubre 2023)

- SENAMHI. (2018). *SENAMHI: se incrementan niveles de radiación ultravioleta* . Descargado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=radiacion-uv> (Accedido el 25 de Octubre del 2024)
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de software* (9th ed.). Pearson.
- Tormo, V. (2013). Fotoenvejecimiento cutáneo. *Departamento de Enfermería de la Universidad de Valencia*. Descargado de <https://cfisiologica.blogs.uv.es/2013/04/18/fotoenvejecimiento-cutaneo/> (Accedido el 30 de Octubre del 2023)
- Universidad de Granada. (2020). *¿Qué es Internet de las Cosas?* https://abierta.ugr.es/pluginfile.php/76339/mod_resource/content/9/2_qu_es_internet_de_las_cosas.html. (Accedido el 13 de mayo de 2025)
- Valbuena, I. (s.f.). *Quemadura solar*. Descargado de <http://www.dermatologapediatra.com/padres/013-quemadura-solar/> (Accedido el 30 de Octubre del 2023)