
	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					
	CARTA DE AUTORIZACIÓN					
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 1

Neiva, 13 de junio del 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

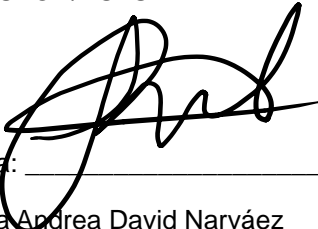
Ciudad

La suscrita: **Paola Andrea David Narváez** con C.C. No. **1.075.280.637** (Neiva). Autora de la tesis y/o trabajo de grado, titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN TIEMPO REAL DE BAJO COSTO PARA EL MUNICIPIO DE NEIVA**, presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de: **Ingeniero Electrónico**. Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.



De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:


 Firma: _____
 Paola Andrea David Narváez

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA						
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de radiación ultravioleta en tiempo real de bajo costo para el municipio de Neiva.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
David Narváez	Paola Andrea

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cortés Cabezas	Albeiro

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Electrónico

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Electrónica

CIUDAD: Neiva, **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019, **NÚMERO DE PÁGINAS:** 80

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ☒ Fotografías ☒ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general ☒ Grabados___ Láminas___
Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros: ☒

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno

MATERIAL ANEXO: NA



PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Radiación Uv	<u>Uv Radiation</u>
2. Monitoreo	<u>Monitoring</u>
3. UVI	IUV
4. IDE	IDE
5. Sistema Embebido	Embedded system

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La sobreexposición a la radiación solar ultravioleta es una de las principales causas de cáncer de piel en las personas, por tanto, conocer los niveles de radiación es de vital importancia para el desarrollo de todas las actividades que se realizan al aire libre.

En el presente trabajo se describe un sistema de monitoreo del índice de radiación ultravioleta que permite conocer en tiempo real el estado de la radiación ultravioleta en el municipio de Neiva, los datos se despliegan por medio de una aplicación web que permite conocer los registros pasados y actuales con su respectiva ubicación.

Además, a través de una aplicación móvil se puede acceder a la información en tiempo real de los índices de radiación UV y crear una alarma que alerte al usuario cuando el índice UV supere el valor asignado por el usuario.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Overexposure to ultraviolet solar radiation is one of the main causes of skin cancer in people; therefore, knowing the levels of radiation is of vital importance for the development of all outdoor activities.

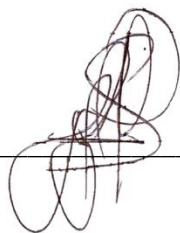
In the present work, we describe a monitoring system for the ultraviolet radiation index that allows knowing in real time the state of the ultraviolet radiation in the municipality of Neiva. The data is deployed by means of a web application that provides access to the current and previous records within its respective location.

In addition, through a mobile application you can access the information in real time of the UV radiation indices and create an alarm that alerts the user when the UV index exceeds the value assigned by the user.

APROBACIÓN DE LA TESIS

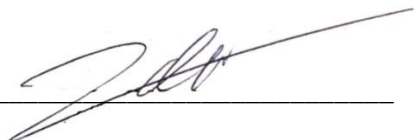
Nombre Jurado: José Jesús Salgado Patrón

Firma: _____



Nombre Jurado: Julián Adolfo Ramírez Gutiérrez

Firma: _____



Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE RADIA-
CIÓN ULTRAVIOLETA EN TIEMPO REAL DE BAJO COSTO PARA EL MUNICI-
PIO DE NEIVA**



PAOLA ANDREA DAVID NARVÁEZ

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA HUILA
2019**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE RADIA-
CIÓN ULTRAVIOLETA EN TIEMPO REAL DE BAJO COSTO PARA EL MUNICI-
PIO DE NEIVA**

PAOLA ANDREA DAVID NARVÁEZ

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Director:
Ph.D ALBEIRO CORTÉS CABEZAS

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA HUILA
2019

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

El mayor agradecimiento a Dios que me ha guiado en cada paso para culminar el presente trabajo, a mi familia que me apoyaron constantemente durante toda mi carrera de manera incondicional, especialmente a mi hijo que ha sido mi gran motivación para no desistir en ningún momento, a Julián Andrés por su guía y apoyo. Y a todos los docentes y compañeros que me han aportado conocimientos esenciales para el desarrollo de mi trabajo de grado y vida laboral.

Paola A. David N.

CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE	15
2.1 MARCO TEÓRICO	15
2.2 ANTECEDENTES.....	23
2.3 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....	28
2.4 INSTRUMENTOS EMPLEADOS PARA LA OBSERVACIÓN DEL FLUJO SOLAR	31
2.5 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS PARA MEDIR LA RADIACIÓN UV	34
2. 6 DISPOSITIVOS EMPLEADOS PARA MEDIR EL ÍNDICE UV.....	36
3. OBJETIVOS.....	37
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	37
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
4. METODOLOGÍA.....	38
4.1 ACTIVIDADES.....	38
5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	40
5.1 COMPONENTES Y TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA.....	41
5.2 DISEÑO DEL HARDWARE	47
5.3 DISEÑO DEL SOFTWARE.....	51
5.3.1 Diseño front- end aplicación web.....	53
5.3.2 Diseño <i>front-end</i> aplicación móvil	58
5.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN UTILIZADOS.....	62

6. SERVIDOR	63
6.1 ADMINISTRACIÓN DE INFORMACIÓN	63
6.2 ORGANIZACIÓN Y PERSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN.....	65
7. VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN.....	66
7.1 DESARROLLO	66
7.2 VALIDACIÓN DEL SISTEMA	67
7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	72
8. SOCIALIZACIÓN	75
9. COSTOS DEL PROYECTO.....	76
10. CONCLUSIONES	77
11. RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación tipos de piel.....	21
Tabla 2. Dermatitis inflamatoria por exposición a la luz UV.	22
Tabla 3. Matriz toma de decisión selección de sensores	41
Tabla 4. Especificaciones TOCON_ABC6	43
Tabla 5. Especificaciones TOCON_E2	44
Tabla 6. Especificaciones tarjeta Raspberry pi 3	45
Tabla 7. Especificaciones modulo GPS NEO 6M	46

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Espectro de radiación solar y actividad fotosintética	15
Figura 2. Código internacional de colores UVI	16
Figura 3. Fórmula para hallar el índice de radiación ultravioleta.....	17
Figura 4. Variación de la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre año 2005.....	18
Figura 5. Balance de radiación neta en la atmosfera terrestre	19
Figura 6. Factores que influyen en los niveles de radiación UV.	20
Figura 7. Ejemplos de los seis tipos de piel.....	21
Figura 8. Elementos fotoprotectores.....	23
Figura 9. Línea de tiempo Atlas de radiación de Colombia IDEAM.....	24
Figura 10. Aviso de altos valores de radiación UV publicado por el IDEAM	25
Figura 11. Solmáforos en Colombia	26
Figura 12. Precipitación y temperatura en el municipio de Neiva	27
Figura 13. Promedio mensual de radiación global en Neiva.....	28
Figura 14. Heliógrafo de Campbell-Stokes	31
Figura 15. Pirheliómetro de Eppley modelo NIP.....	32
Figura 16. Piranómetro Kipp & Zonen.....	33
Figura 17. Radiómetro NILU-UV6 en la izquierda y actinógrafo en la derecha	33
Figura 18. Albedómetro.....	34
Figura 19. Sensor ML8511 en el exterior y su esquema eléctrico.	35
Figura 20. Sensor GUVA-S12SD	35

Figura 21. Sensor VELM6070.....	35
Figura 22. Pulseras Smatsun, Pulsera UV y Pulsera UVeBand	36
Figura 23. Diagrama general del sistema de monitoreo de radiación UV.....	40
Figura 24. Sensor TOCON_ABC6.....	42
Figura 25. Sensor TOCON_E2	43
Figura 26. Tarjeta raspberry pi 3.....	44
Figura 27. Modulo A/D ADS1115	45
Figura 28. Modulo GPS NEO 6m.....	47
Figura 29. Arquitectura del hardware.....	48
Figura 30. Circuito equipo recolector de datos	48
Figura 31. Componentes del sistema recolector de datos	49
Figura 32. Kit starter TOCON.....	50
Figura 33. Lectura del voltaje de salida en diferentes exposiciones de luz.....	50
Figura 34. Diagrama de flujo script Raspberry	51
Figura 35. Diagramas de flujo función envió de datos y función leer tocons	52
Figura 36. Maquetación página principal aplicación Web.	53
Figura 37. Maquetación página secundaria aplicación Web.....	53
Figura 38. Maquetación página terciaria aplicación Web.....	54
Figura 39. Pantalla principal aplicación Web.....	54
Figura 40. Pantalla secundaria aplicación Web	55
Figura 41. Tercera pantalla de la aplicacion Web.....	55
Figura 42. Pantallas de inicio de sección y registro.....	55

Figura 43. Pantalla información aplicación móvil.....	56
Figura 44. Pantalla de galería aplicación Web	56
Figura 45. Pantalla créditos aplicación Web.....	56
Figura 46. Mapa conceptual interacción aplicación web.....	57
Figura 47. Maquetación página principal aplicación Móvil.....	58
Figura 48. Maquetación página secundaria aplicación móvil	58
Figura 49. Maquetación página secundaria aplicación móvil	59
Figura 50. Pantalla principal aplicación móvil	59
Figura 51. Pantalla información aplicación Móvil.....	60
Figura 52. Pantalla notificaciones aplicación Móvil.....	60
Figura 53. Mapa conceptual interacción aplicación móvil	61
Figura 54. Interacciones servidor	63
Figura 55. Diagrama relacional base de datos	64
Figura 56. Validación del sistema con estación meteorología del IDEAM.....	66
Figura 57. Validación del sistema 10 y 11 de septiembre del 2018	67
Figura 58. Validación del sistema 13 y 14 de septiembre del 2018	68
Figura 59. Validación del sistema 17 y 19 de septiembre del 2018	68
Figura 60. Validación del sistema 20 y 21 de septiembre del 2018	69
Figura 61. Validación del sistema 24 y 25 de septiembre del 2018	69
Figura 62. Validación del sistema 27 y 29 de septiembre del 2018	70
Figura 63. Validación del sistema 2 y 3 de octubre del 2018.....	70
Figura 64. Validación del sistema 5 y 6 de octubre del 2018.....	71

Figura 65. Validación del sistema 8 y 9 de octubre del 2018.....	71
Figura 66. Validación del sistema 10, 11 y 12 de octubre del 2018.....	72
Figura 67. Días en que se realizaron mes de septiembre del 2018.....	73
Figura 68. Días de octubre en los que se realizaron pruebas.....	73
Figura 69. Error Cuadrático Medio.....	74
Figura 70. Socialización con el personal del IDEAM sede Pasto.....	75

RESUMEN

La sobreexposición a la radiación solar ultravioleta es una de las principales causas de cáncer de piel en las personas, por tanto, conocer los niveles de radiación es de vital importancia para el desarrollo de todas las actividades que se realizan al aire libre.

En el presente trabajo se describe un sistema de monitoreo del índice de radiación ultravioleta que permite conocer en tiempo real el estado de la radiación ultravioleta en el municipio de Neiva, los datos se despliegan por medio de una aplicación web que permite conocer los registros pasados y actuales con su respectiva ubicación.

Además, a través de una aplicación móvil se puede acceder a la información en tiempo real de los índices de radiación UV y crear una alarma que alerte al usuario cuando el índice UV supere el valor asignado por el usuario.

Palabras Claves: *Radiación UV; Monitoreo; UVI; IDE.*

ABSTRAC

Overexposure to ultraviolet solar radiation is one of the main causes of skin cancer in people; therefore, knowing the levels of radiation is of vital importance for the development of all outdoor activities.

In the present work, we describe a monitoring system for the ultraviolet radiation index that allows knowing in real time the state of the ultraviolet radiation in the municipality of Neiva. The data is deployed by means of a web application that provides access to the current and previous records within its respective location.

In addition, through a mobile application you can access the information in real time of the UV radiation indices and create an alarm that alerts the user when the UV index exceeds the value assigned by the user.

Keywords: UV radiation; Monitoring; UVI; IDE

1. INTRODUCCIÓN

La radiación ultravioleta (UV) es un tipo de energía que abarca longitudes de onda entre 280 y 400 nanómetros (nm), en el espectro electromagnético se clasifica en tres bandas: UVA (320-400nm), UVB (280-320nm) y UVC (100-280nm), la última es la fracción más energética de la radiación UV y por lo tanto la más nociva (Otero, 2001), la principal fuente de energía radiante ultravioleta es el sol, el cual genera energía que se propaga por el espacio llegando a la atmosfera terrestre y a su superficie, este tipo de energía es considerada el motor del sistema climático, por ello su importancia en determinar su distribución. Es inevitable la exposición en alguna medida a los rayos UV directos o indirectos provenientes del sol, esto puede ser tan beneficioso como perjudicial en diferentes ámbitos (Society, 2017), ya que representa un recurso vital para el desarrollo de los seres vivos permitiendo sintetizar la vitamina D, sin embargo en dosis excesivas y acumulativas sus consecuencias pueden ser perjudiciales para la salud, afectando el sistema inmunológico en los humanos, provocando lesiones cutáneas y oculares (Salud, 2003).

Alrededor de la anterior afirmación, se destaca que existe un indicador que asocia a la radiación UVB incidente con los posibles efectos negativos en la piel, este se ha denominado índice de radiación ultravioleta o UVI, pues ha sido creado para fomentar buenas conductas de exposición solar, expresándose como un valor adimensional mayor a cero, por tanto, entre más alto sea el valor el riesgo de lesiones cutáneas y oculares es también mayor. Frente a esto, la OMS (Organización mundial de la Salud) creó un código de colores y pictogramas, que permiten diferenciar y estandarizar los valores del UVI (MINSALUD, 2014).

Bajo esas problemáticas, la investigación desarrollada consiste en el diseño de un sistema que permite monitorear la radiación UV incidente, en el cual se integró un GSP, un ordenador de placa reducida Raspberry Pi y sensores foto detectores que miden la radiación UV y el UVI de forma directa. El diseño del sistema se dirigió para que cualquier persona interesada en el estado de la biosfera, conozca en tiempo real la información captada por los sensores, y pueda acceder a ella mediante una aplicación web y una aplicación móvil, las cuales cuentan con herramientas como alarmas, histogramas, datos tiempo real, e información de interés. En el presente proyecto se realizó un proceso de validación del sistema, adquiriendo y comparando datos dentro de una estación meteorológica automática del Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales -IDEAM-.

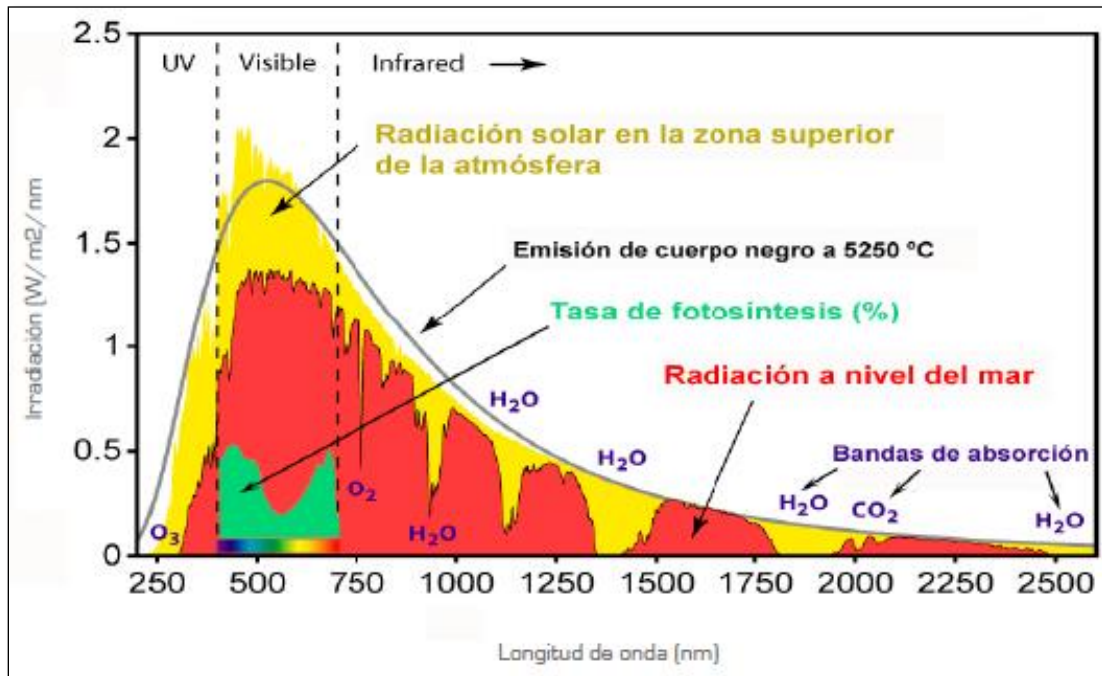
2. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 MARCO TEÓRICO

En el presente ítem se describen de forma breve, los términos más relevantes que se manejan en el proyecto, permitiendo una mejor contextualización de lo planteado:

- **Radiación solar:** es la energía que genera el núcleo del sol por las reacciones del hidrógeno, y se propaga en todas las direcciones por el espacio mediante ondas electromagnéticas, llegando a la parte superior de la atmósfera terrestre, que luego de ciertas interacciones con la atmósfera incide sobre la superficie de la tierra. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La medición de la radiación solar en forma instantánea se expresa en unidades de (W/m^2), o en forma integrada durante un lapso de tiempo que normalmente es de (Kwh/m^2) (VARGAS, 2013).

Figura 1. Espectro de radiación solar y actividad fotosintética



Fuente (Henry Benavides V., 2017).

- **Radiación ultravioleta (UV):** es una forma de energía radiante que cubre el rango de longitudes de onda entre los 100 y los 400 nm, la principal fuente de esta energía es el sol, y se clasifica en tres bandas.

- **UVA:** está entre 320 y 400 nm, por ser la continuación de la radiación visible y es la responsable del bronceado de la piel, representando menor peligro.
- **UVB:** está entre 280 y 320 nm, llega a la tierra atenuada por la capa de ozono. Es llamada también UV biológica, siendo una radiación peligrosa para la salud humana; las exposiciones prolongadas a este tipo de radiación es uno de los principales causantes de cáncer de piel, melanoma, y catarata.
- **UVC:** está entre 100 y 280 nm; es en teoría la más peligrosa para la salud humana, y vida en general, pero afortunadamente es absorbida totalmente por la atmósfera (Henry Benavides V., 2017).

- **Índice radiación ultravioleta (UVI):** Es un indicador que asocia la intensidad de la radiación solar ultravioleta incidente sobre la superficie terrestre (principalmente la UV-B), con posibles daños en la piel humana (acción eritémica), este indicador siempre tiene valores positivos y alcanza los niveles más altos alrededor del medio-día. El índice UV indica la intensidad de la radiación UV-B que afecta la piel en una escala del 1 al 11+, donde el 1 representa el valor más bajo y en la medida que incrementa su valor, aumenta la posibilidad de producir lesiones, (Henry Benavides V., 2017). En la Figura 2, se puede observar en detalle el código de colores para la escala del UVI.

La expresión del índice UVI está basada en un espectro de referencia para el eritema, creado por la Comisión Internacional sobre Iluminación, dicho índice es una medida de la radiación UV aplicable y definida para una superficie horizontal, el cual se define con la siguiente formula (OMS, Organización mundial de la salud, 2016).

Figura 2. Código internacional de colores UVI

ÍNDICE UV 1	ÍNDICE UV 2	ÍNDICE UV 3	ÍNDICE UV 4	ÍNDICE UV 5	ÍNDICE UV 6	ÍNDICE UV 7	ÍNDICE UV 8	ÍNDICE UV 9	ÍNDICE UV 10	ÍNDICE UV 11+
BAJO		MODERADO			ALTO		MUY ALTO			EXTREMADAMENTE ALTO
{1,2}		{3, 4, 5}			{6, 7}		{8, 9, 10}			{11}+
Verde PMS 375		Amarillo PMS 102			Naranja PMS 151		Rojo PMS 032			Morado PMS 265

Fuente: (OMS, 2016)

Figura 3. Fórmula para hallar el índice de radiación ultravioleta

$$UVI = K_{err} \int_{250nm}^{400nm} E_{\lambda} S_{er}(\lambda) d\lambda$$

Donde:
 K_{err} : constante igual a $40 \text{ m}^2/\text{W}$
 E_{λ} : irradiancia espectral solar
 $S_{er}(\lambda)$: espectro de acción de referencia para el eritema

Fuente: (OMS, Organización mundial de la salud, 2016)

- **Constante solar:** es llamada constante solar al flujo de energía de onda corta interceptada por una superficie normal a la dirección del sol, a una distancia promedio de $150 \times 10^6 \text{ Km}$ del sol, que tiene un valor aproximado de $1.367(\text{w}/\text{m}^2)$ (UPME, 2005).

- **Atenuación de la radiación solar:** la radiación solar que llega a la superficie terrestre es menor a la que llega al tope de la atmósfera, esto debido a que la radiación sufre un proceso de debilitamiento de dispersión, reflexión y absorción al pasar por la atmósfera, a causa de factores como la nubosidad, el día del año, y la densidad de gases, entre otros. A continuación, se detalla cada uno de estos procesos de atenuación. (Cabello, 2013).

- **Dispersión:** ocurre cuando el sentido de un fotón cambia de dirección por un obstáculo, si la energía transcurre con una longitud de onda corta, mayor es la dispersión. Los gases de la atmósfera dispersan mejor la longitud de onda corta, banda violeta y azul, que las longitudes de onda larga, bandas naranja y rojo, lo que explica el color azul del cielo y los colores rojos y naranja del amanecer y atardecer.
- **Reflexión:** es la fracción de radiación reflejada por la interacción con nubes y partículas en suspensión, se denomina albedo, y no interviene en el calentamiento de la atmósfera, es variable de un lugar a otro, como también de un instante a otro. Las superficies oscuras y quebradas reflejan menos que las claras y lisas.
- **Absorción:** sucede cuando la radiación es captada por un material. En la atmósfera se encuentran diferentes tipos de gases, que pueden absorber la energía selectivamente según la longitud de la onda, y se da solo cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia vibracional molecular de los gases. (Henry Benavides V., 2017), (UPME, 2005).

- **Radiación directa:** es la radiación que proviene directamente del disco solar, que no ha sido absorbida ni dispersa, depende de la constante solar, la altura del sol y la transparencia atmosférica en presencia de gases absorbentes, nubes y niebla.

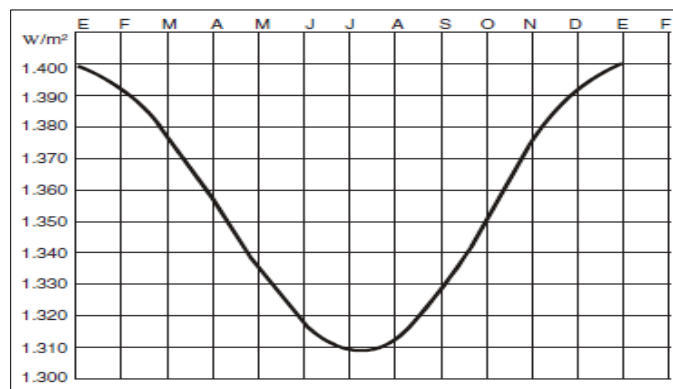
- **Radiación difusa:** es la cantidad de radiación que llega a una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera, sus valores oscilan entre 300 y 5.500Wh/m² al día. La cantidad de radiación difusa que llega a la superficie terrestre depende principalmente de la altura del sol, la cantidad de partículas que están en el ambiente, la cantidad de nubes delgadas y la altura sobre el nivel del mar.

- **Radiación global:** es el resultado del componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa, la cual, se evalúa según el flujo de la energía por unidad de área y de tiempo sobre una superficie horizontal expuesta al sol.

- **Columna de ozono:** el ozono es un gas incoloro e inestable de tres átomos de oxígeno, es un oxidante fuerte, muy fácil de producir, pero a la vez muy frágil y fácil de destruir. En la atmosfera es de vital importancia porque protege la vida del planeta, absorbiendo los rayos ultravioleta procedentes del sol, particularmente, la radiación UV-B en el rango de 280 a 320 nanómetros de longitud de onda, los cuales son peligrosos para la salud humana, los animales y las plantas, incluyendo al plancton marino. En las últimas décadas y con los avances industriales se han inyectado a la atmósfera sustancias agotadoras de ozono, que disminuyen la cantidad del ozono en la estratósfera en latitudes medias y polares, provocando un aumento de la radiación ultravioleta, con efectos potencialmente dañinos para los diferentes componentes del sistema terrestre. (UPME, 2005) (Henry Benavides V., 2017).

- **Variación de la radiación solar en el límite superior de la atmósfera:** la distancia tierra-sol cambia durante el año debido al movimiento de la tierra alrededor del sol (translación), por lo que se origina una variación de la irradiancia solar incidente sobre una superficie normal al rayo solar en el límite superior de la atmósfera durante cada estación, (Henry Benavides V., 2017).

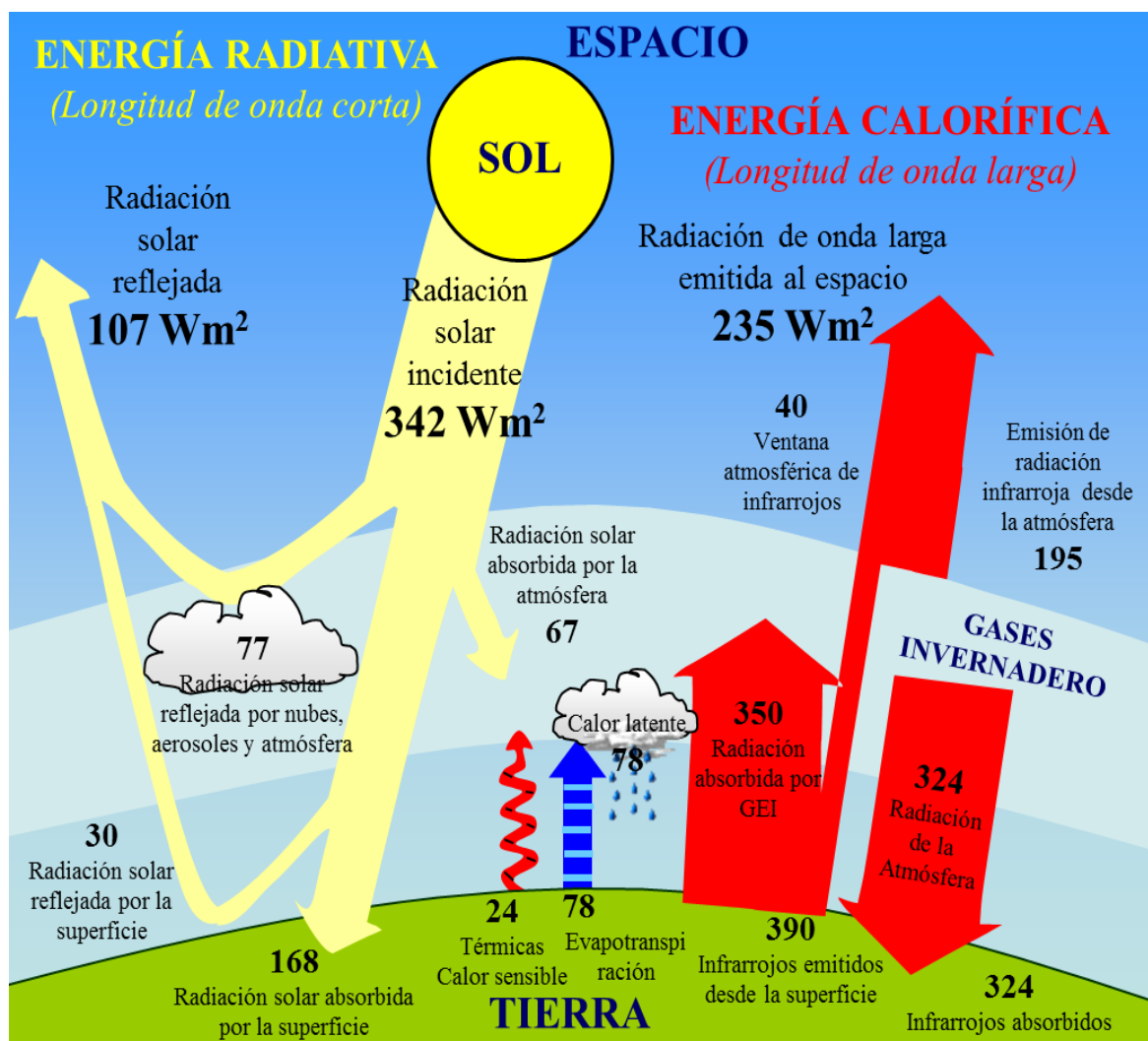
Figura 4. Variación de la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre año 2005



Fuente: (UPME, 2005).

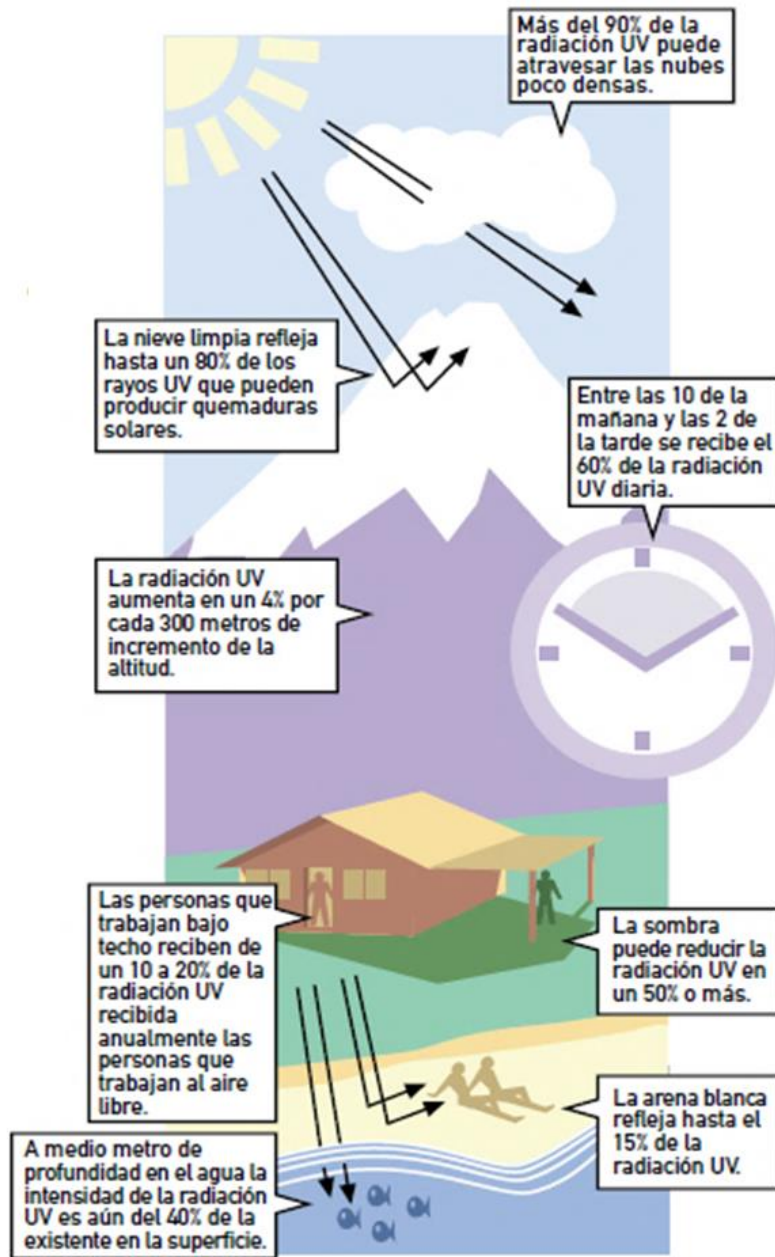
- **Balance energético de la atmósfera terrestre:** La energía que emite la superficie terrestre debe estar en balance con la energía recibida por la tierra desde el sol. Los cambios que se presentan entre las cantidades de energía que entra y sale del sistema, puede generar un cambio climático, que empuja al clima a un nuevo estado, proceso conocido como forzante climático. En la figura 5, se puede observar en detalle las cantidades de energía radiativa y energía calorífica, que llega desde el sol a la atmósfera terrestre, la distribución de esta y los factores que intervienen en dicho proceso.

Figura 5. Balance de radiación neta en la atmósfera terrestre



Fuente: https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/5_balance_de_radiacin_neta.html

Figura 6. Factores que influyen en los niveles de radiación UV.



Fuente: (Salud, 2003)

- **Fototipos cutáneos:** las personas tienen incorporada en su piel una protección natural contra la luz ultravioleta que le permite protegerse de los trastornos cutáneos que ésta le causa. Los principales mecanismos de protección naturales o endógenos actúan de dos formas: absorbiendo la radiación o desviándola. A nivel epidérmico se destacan el ácido urocánico, la melanina, el ADN, el ARN, la hemoglobina sanguínea y la bilirrubina tisular, como los primeros protectores naturales, estos va-

rían en cada persona según el fototipo de piel. (AUDIENCI, 2008). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los fototipos de piel se pueden clasificar en seis grupos como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación tipos de piel

<i>Fototipo de piel</i>	Color de piel	Sensibilidad a la radiación	Descripción
I	Blanca (deficiente en melanina)	Muy sensible	Siempre se quema con facilidad tras la exposición al sol, raramente se broncea.
II	Blanca (deficiente en melanina)	Muy Sensible	Habitualmente se quema tras la exposición al sol, algunas veces se broncea.
III	Blanca (con melanina suficiente)	Sensible	Algunas veces se quema tras la exposición al sol, habitualmente se broncea de manera gradual y uniforme, (café claro).
IV	Café Clara (con melanina suficiente)	Moderadamente sensible	Raramente se quema tras la exposición al sol, siempre se broncea bien. (café moderado).
V	Café (con protección melánica)	Mínimamente sensible	Rara vez se quema. Se broncea intensamente (café oscuro).
VI	Café oscuro o negro (con protección melánica)	Insensible o mínimamente sensible	Nunca se quema. Se broncea intensamente (café oscuro o negro).

Fuente: www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf

Figura 7. Ejemplos de los seis tipos de piel



Fuente: <https://ideaspharma.com/2017/07/18/danos-solar-en-la-piel/>

- Efectos de la radiación UV en la salud: las quemaduras solares son los efectos agudos más conocidos de la exposición excesiva a la radiación UV; a largo plazo, este daño acumulativo produce cambios a nivel celular en cada una de las diferentes capas de la piel, del tejido fibroso y de los vasos sanguíneos, que se puede traducir más tarde en el envejecimiento prematuro de la piel o en el peor de los casos en un cáncer, que se manifiesta con tumores, manchas, úlceras, lunares o masas. Los efectos biológicos por sobreexposición a la radiación UV están asociados a graves daños en el fitoplancton marino y en los sistemas vegetales por la alteración de las funciones clorofílicas, por ende, disminución de las cosechas.

Tabla 2. Dermatitis inflamatoria por exposición a la luz UV.

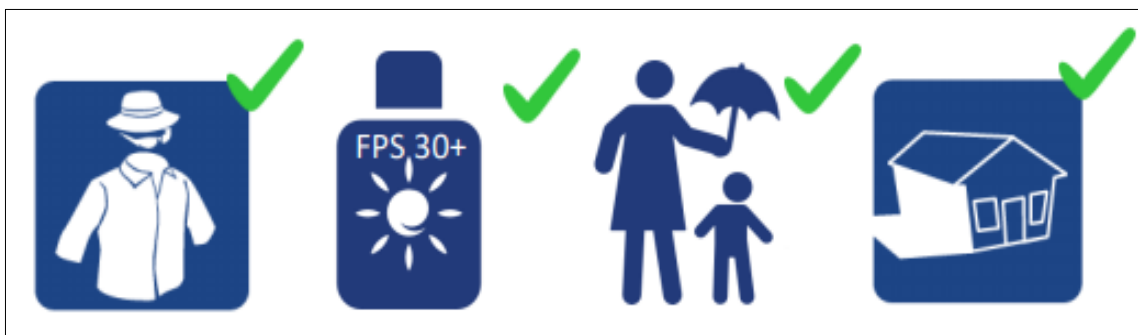
Fotodermatitis idiopáticas
<p>Erupción polimorfa lumínica Prúrigo actínico Hidroa vacciniforme Urticaria solar Dermatitis actínica crónica</p>
Dermatitis agravadas por la luz
<p>Acné Dermatomiositis Eritema multiforme Enfermedad de Darier Enfermedad de Grover Dermatitis seborreica Herpes simple Rosácea Melasma Lupus eritematoso Liquen plano Pénfigo Psoriasis</p>

Fuente: (Elena Duro Mota, 2003)

- Efectos de la radiación solar en las plantas: si bien las plantas han desarrollado desde temprano en la evolución, mecanismos de protección lo suficientemente eficientes para prevenir el efecto dañino de la radiación UV natural, las predicciones de un aumento de la radiación UV-B solar podrían tener un gran impacto en la productividad de los cultivos, debido principalmente a la disminución del crecimiento que se observa en las distintas especies vegetales estudiadas y al efecto que tiene sobre hongos y bacterias que son generalmente sensibles a la UV-B que las plantas, (Libertad, 2009).

- Elementos fotoprotectores: existe una gran diversidad de elementos que nos protegen del sol, bien sea de forma directa o indirecta, evitando o reduciendo la incidencia de los rayos UV por algún efecto físico, químico o biológico. En la siguiente figura se detalla una clasificación general de los elementos fotoprotectores.

Figura 8. Elementos fotoprotectores.



Fuente: http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Que%20hay%20de%20Nuevo/Radiaci%F3n_UV.pdf

- **Fotoprotección naturales:** en este grupo se encuentran todos los parasoles naturales que bloquean o reducen la incidencia de la radiación UV, ubicándose entre la fuente emisora y las personas, por ejemplo, los árboles, arbustos y enredaderas.
- **Fotoprotección artificial y filtros solares:** los filtros químicos son moléculas que absorben los fotones de la radiación solar alterando su estructura molecular, cada molécula presenta un espectro de absorción óptimo que permite clasificarla en filtro UVA o filtro UVB. Los cambios en su estructura molecular pueden traducirse en cambios en su estructura química, de modo que a veces producen dermatitis de contacto. Son los más difundidos en el mercado porque son transparentes, no manchan la ropa y necesitan una capa de aplicación de menor grosor. Los filtros físicos actúan reflejando o desviando la radiación solar formando una barrera opaca que actúa a modo de pequeños espejos. Su espectro de actuación es más amplio, de manera que proporcionan protección frente a los UVA, UVB, luz visible e infrarrojos. Son partículas minerales que necesitan una capa de aplicación gruesa, que puede manchar la ropa, aunque cada día se elaboran nuevas partículas microscópicas cosméticamente más aceptables, haciendo que sea más raro que se produzcan reacciones de tipo alérgico o irritativo, (Elena Duro Mota, 2003).

2.2 ANTECEDENTES

Las aplicaciones prácticas de la radiación UV empezaron en el año 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente con el fin de desinfectar el agua para las comunidades pequeñas, lo que evidenció el potencial de este tipo de energía y dio paso a más estudios que permitieron desarrollar avances en el control de plagas, la esterilización, la ciencia e ingeniería entre otras, (Organización Panamericana de Salud, 2005).

- **Información de la radiación UV en el Mundo:** La organización Mundial de la Salud establece dos niveles de comunicación, sobre la radiación UV, uno de difusión pública en el que se mencionan las “Recomendaciones básicas sobre Fotoprotección” y, por otro lado, un material titulado “Índice UV solar mundial”, que es una guía práctica, donde se incluye información ampliada sobre los efectos cutáneos, y la protección adecuada ante la radiación solar. La guía ha sido elaborada como material orientador para que las autoridades locales de cada país elaboren y ejecuten políticas de educación y prevención de enfermedades por el exceso de exposición a la radiación UV, en beneficio de la comunidad según las necesidades locales de cada gobierno, (OMS, Organización mundial de la salud, 2016).

- **Información de la radiación UV en Colombia:** En Colombia el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) es el ente nacional encargado de generar información respecto al estado climático del país, tiene como función analizar la dinámica de los recursos naturales, y publicar avisos y alarmas a la comunidad de ser necesario, como se puede observar en el comunicado de la Figura 10, en el que se detalla las precauciones que se deben tener frente a los altos valores de radiación UV que se presentaron en el mes de marzo del 2018., en su sitio web se puede acceder a los atlas climáticos de radiación solar, boletines informativos y alertas respecto al pronóstico y estado actual del clima, con todas sus variables. Hasta la actualidad el IDEAM ha publicado cuatro atlas en los que se detalla geográficamente el estado de esta variable, en la siguiente figura se pueden observar las portadas, con el número de sensores que utilizaron para cada informe, (UPME, 2005).

Figura 9. Línea de tiempo Atlas de radiación de Colombia IDEAM



Fuente: http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260

Figura 10. Aviso de altos valores de radiación UV publicado por el IDEAM

PARA TENER EN CUENTA

**ALTOS VALORES DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA
MARZO DEL 2018**

Normalmente, el mes de marzo hace parte del periodo en el cual se presentan bajas concentraciones de ozono; esta situación y otra condición normal para la época, como lo es acercarnos al equinoccio de primavera (21 de marzo, momento en el cual el Sol se encuentra más perpendicular al eje del ecuador terrestre), hacen que se incremente la incidencia de la radiación ultravioleta sobre el país.

Lógicamente ante las condiciones meteorológicas de los últimos días, las cuales han incidido en una disminución de la nubosidad y por ende en un incremento en la radiación solar (principalmente en horas de la mañana y primeras horas de la tarde), da lugar a que sea mayor la susceptibilidad a recibir cantidades significativas de radiación ultravioleta.

Por lo anterior, se recomienda evitar la exposición directa al sol entre las 9 a. m. y las 4 p. m. , pues en dicho periodo se suele tener la mayor cantidad de radiación; usar ropa protectora (camisa de manga larga, sombreros de ala ancha y lentes protectores, entre otros), usar bloqueadores solares para la piel con un factor de protección 30 o mayor. Cabe recordar, que los rayos ultravioleta pueden producir eritemas (quemaduras de la piel por una prolongada exposición al Sol), acelerar el envejecimiento y en ocasiones producir cáncer de piel, daños oculares y afectar el sistema inmunológico.

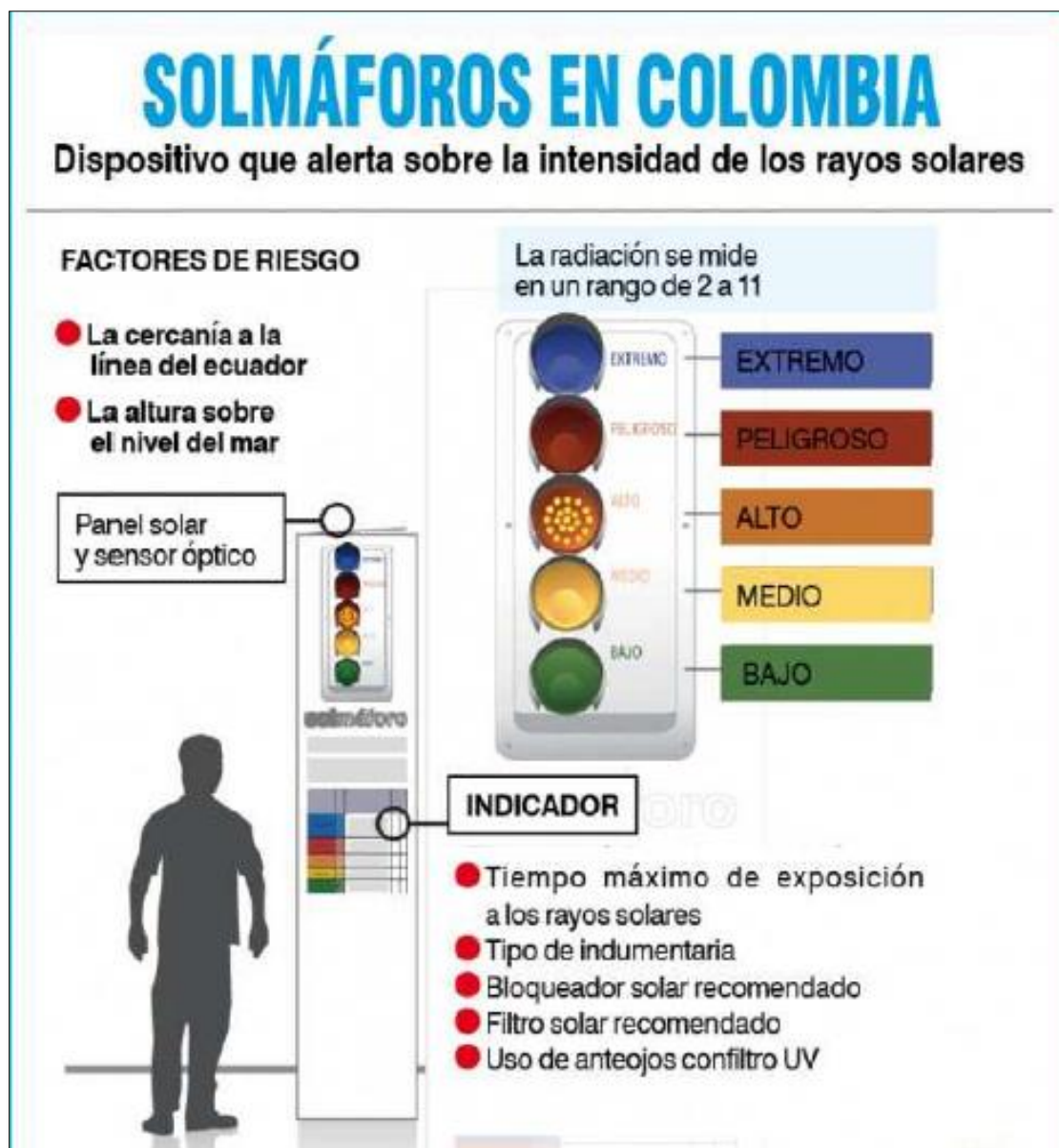
Los altos valores de radiación se pueden presentar en todo el territorio nacional, pero son más dañinos en zonas montañosas del sur de Antioquia, los Santanderes, Tolima, Eje Cafetero, Boyacá, Cundinamarca, Huila, Cauca y Nariño.

Fuente: <https://bit.ly/2FdxnuX>

En Colombia existen estaciones meteorológicas automáticas y convencionales ubicadas a lo largo y ancho de todo el territorio, según el último atlas de radiación UV de Colombia existen una red de estaciones propias del IDEAM y otras de entidades privadas que necesitan monitorear esta variable para el beneficio de la misma, y muy rara vez comparten o publicada la información adquirida, solo se limitan a usar los datos para sus aplicaciones operativas. Entre dichas entidades se encuentra: Cenicaña, Cenicafe, Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR), instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas (IPSE), Fedearroz, la secretaria de medio ambiente de Bogotá, Escuela de ingeniería, el IDRD, la Universidad Distrital, la Universidad del Tolima, y la fundación universitaria los libertadores principalmente, (Henry Benavides V., 2017).

Una forma de divulgar los niveles de radiación UV presentes en una zona, son los solmáforos, diseñados para alertar a la comunidad sobre los niveles instantáneos de la radiación UV presentes a nivel de la superficie terrestre, mediante un código de cinco colores que están asociados al UVI, los cuales comienzan en intensidad baja representado en color verde, hasta intensidad extremadamente alta representados en color violeta. En la siguiente figura se representa un solmáforo y sus características principales.

Figura 11. Solmáforos en Colombia

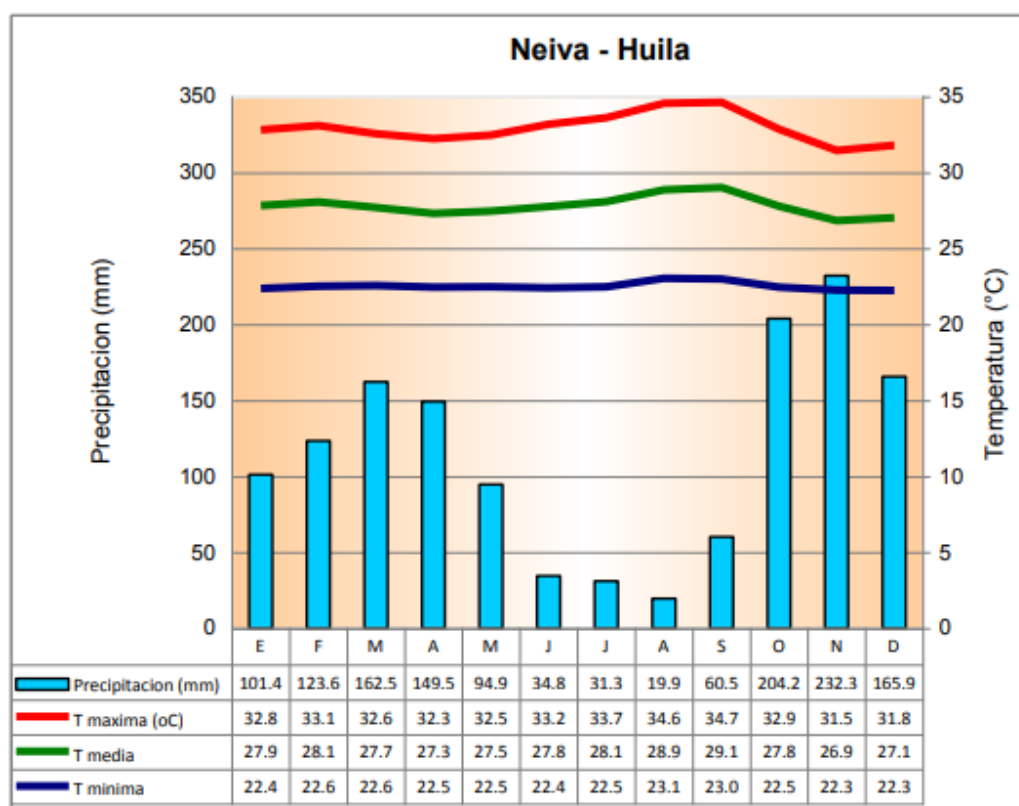


Fuente: <https://bit.ly/2FgWBbZ>

- Información de la radiación UV en Neiva: Para el municipio de Neiva el IDEAM no cuenta con datos actualizados de la radiación UV, a pesar de disponer con estaciones meteorológicas en el territorio, estas no incluyen equipos que estén en funcionamiento para medir esta variable, no obstante en los últimos reportes del IDEAM, en la ciudad de Neiva el promedio anual de radiación UV global recibida en superficie es de 4651,5 (Kwh/m²) por día, los cuales se distribuyen mensualmente como se indica en la Figura 13, esto es según la información captada entre marzo de 1990 y agosto de 2003.

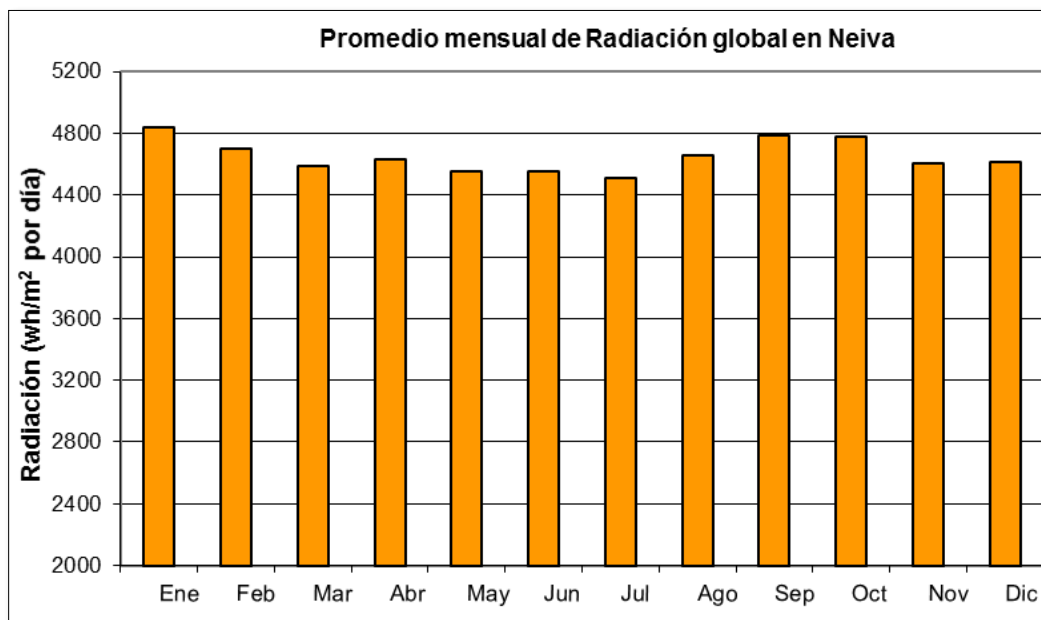
Factores importantes que se deben de tener en cuenta en el monitoreo de radiación solar como el ozono, la temperatura, las horas de brillo y la precipitación, están más actualizados y disponibles en el IDEAM, hallando que la ciudad de Neiva se encuentra entre los municipios con menor promedio total en la columna de ozono del país, con un promedio anual de 257.1 unidades dobson y esta entre las ciudades con mayor promedio de horas de sol al día con 5.2 horas en promedio. (IDEAM, Columna total de ozono para las principales ciudades del país en U.D, 2015). (IDEAM, Promedio mensual de brillo solar para todas las estaciones del país, 2015). La precipitación y la temperatura en Neiva se puede observar en la siguiente figura.

Figura 12. Precipitación y temperatura en el municipio de Neiva



Fuente: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/huila_graf.pdf

Figura 13. Promedio mensual de radiación global en Neiva



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/graficosRadiacionIGH2/neiva.png>

2.3 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Para efectos del desarrollo del presente proyecto se realizó previamente al diseño un exhaustivo estudio, y análisis de las técnicas de medición de la radiación ultravioleta, considerando los tipos de sensores y dispositivos que se usan para este fin. A continuación, se describe las técnicas más relevantes y dispositivos destacados para el censo de la radiación UV.

- Estimaciones mediante modelos físicos y empíricos: este tipo de técnicas se utiliza cuando no se cuenta con datos experimentales suficientes, y estos son escasos o nulos, también cuando se desea tener una gran cobertura espacial y temporal. En los modelos físicos se emplean leyes físicas que explican la interacción de la radiación UV con otras variables atmosféricas, mediante leyes físicas y matemáticas, la precisión de este tipo de modelos es proporcional a los datos que se introduzcan en la misma, considerando que los fenómenos atmosféricos son de alta complejidad.

Para el caso de la estimación de la radiación UV mediante modelos empíricos, se ajustan algunas expresiones matemáticas que representan la respuesta de la radiación UV, según los principales factores moduladores de la misma, por lo cual se considera que este tipo de modelo tiene menor complejidad que los modelos físicos, y son muy útiles para predecir el comportamiento de la radiación UV en la superficie terrestre. A continuación, se describen brevemente algunos trabajos de estimación de radiación UV, que emplearon modelos físicos y empíricos en su desarrollo.

- **Evaluación de un modelo estadístico para estimar la radiación solar en magdalena, Colombia** (Andres M. Velez, 2015): Se plantea un modelo estadístico de correlación para estimar la radiación global a partir de datos meteorológicos, utilizando regresiones entre las variables y la radiación solar, además de múltiples regresiones entre las posibles combinaciones de las variables. Como resultado de este estudio se encontró que existe una buena correlación estadística entre las variables como la radiación solar, temperatura y humedad relativa, y poca relación con las horas de sol; siendo la humedad relativa la que guarda una mayor correlación y por tanto influencia en el modelo, además determinaron que el mejor ajuste para predecir la radiación solar es la regresión con todas las variables.
 - **Modelos empíricos para la estimación de la irradiancia solar ultravioleta (Anton., 2007)**: En este proyecto se realizó la estimación de la radiación solar UV, para ciudad de Extremadura España, en el cual se integra los factores moduladores de la radiación UV a partir de variables que la caracterizan como, las nubes, los aerosoles, el ozono y altura solar. Los modelos propuestos por este estudio fueron validados por separado y propuestos para una aplicación en especial, como por ejemplo la estimación de los posibles valores máximos de irradiancia solar UV, y la predicción del UVI para cielo despejado.
- **Observaciones satelitales**: esta técnica se guía por modelos físicos, en los que se emplean información captada por instrumentos de teledetección a bordo de satélites, los cuales realizan mediciones del espectro de la radiación solar UV dispersa por la atmósfera, para poderla estimar en la superficie terrestre, estas estimaciones complementan las medidas superficiales proporcionando una cobertura global del comportamiento de la radiación UV. A continuación, algunos trabajos relacionados:
- **Evaluación de la radiación solar en Bogotá a partir de imágenes del satélite GOES** (Suárez, 2013): en este trabajo se explica una forma de conocer las características espaciales y temporales de la radiación solar global en la ciudad de Bogotá a partir de imágenes del canal visible adquiridas por el satélite GOES E. En este estudio se realizó unas verificaciones de las estimaciones planteadas, encontrando que el modelo de Justus, París & Tarpley, estima de forma consistente los valores horarios de radiación solar, mientras que el ajustado por regresión lineal presentó inconsistencias, considerando que, en la primera y última hora del día, en la mayoría de las estaciones estimó datos negativos, lo cual no es aceptable físicamente. Con la técnica planteada y validada consiguieron encontrar el acumulado promedio trimestral de radiación solar global, el acumulado promedio de radiación solar para el año 2011, y la estimación de la acumulación promedio de radiación global en la superficie terrestre en la ciudad de Bogotá.

- **Measurements of UV irradiance within the área of one satelital pixel** (Weihs, 2008): en esta investigación se compara los datos del índice de radiación UV obtenidos por un modelo satelital, y los obtenidos por seis estaciones cuyo radio es de 30Km, equivalente al área de un pixel satelital, encontrando discrepancias del 5% en días despejados, y del 200% en condiciones de nubosidad, evidenciando que la información satelital a pesar de analizar simultáneamente grandes áreas de terreno, presenta inconsistencia en determinados escenarios climáticos.
- **Mediciones experimentales:** esta técnica utiliza las medidas de superficie lo que permite estudiar en detalle la radiación UV y su variabilidad temporal en la superficie terrestre, para lo cual, se debe disponer de instrumentos como sensores o dispositivos que cuantifiquen adecuadamente esta variable. Las limitaciones que tiene el análisis de la radiación UV mediante los instrumentos de superficie son la reducida cobertura por los escasos números de equipos disponibles, y por otro lado la amplia variabilidad de equipos existentes en el mercado, que dificultan la comparación de las medidas registradas.
- **Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de La Guajira-Colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica (M. Vanegas, 2015):** en este trabajo se identificaron las zonas del departamento de la guajira que presentan mayor potencial para el desarrollo de diferentes tecnologías solares, basándose en la información de distintas estaciones ubicadas en todo el departamento suministrada por el IDEAM, y con registros climáticos de más de cinco años. En este estudio encontraron que la zona norte de península de la guajira son las áreas más adecuadas para el desarrollo de instalaciones solares de tipo eléctrico fotovoltaico, y térmico.
- **Niveles de radiación ultravioleta, fenotipos e infraestructura de protección solar en instituciones educativas de Piura, Perú (Dedios M. Ninell J, 2017):** en este trabajo se analiza el comportamiento estacional de la radiación UV, empleando información procedente del biometro UVI modelo 501-A, entre los años 2008 a 2011, en 25 instituciones educativas de la región, encontrando que las horas de mayor impacto de la radiación UV sobre la piel se da en entre 11:00 am y 14:30 pm, con niveles extremos especialmente en verano.
- **GEULMóvil (Carlos A., 2013):** en este proyecto se da respuesta a la necesidad de contar con datos precisos sobre la radiación ultravioleta (UV) en el territorio uruguayo, a consecuencia de la preocupación por el aumento de la incidencia de cáncer de piel detectada por clínicos universitarios. La iniciativa fue recogida y desarrollada por el Núcleo de Ingeniería Biomédica en el Hospital de Clínicas.

El objetivo de GEUL Móvil es recoger la información del UVI a través de un dispositivo móvil que se coloca sobre los ómnibuses interdepartamentales y vehículos particulares o trenes. Esta información se envía a un servidor central que debe poder definir las zonas y horarios con mayor riesgo de enfermedades debido a la exposición a dicha radiación. Se busca también generar un banco de datos de radiación UV a lo largo del tiempo. Para ello se desarrolla un prototipo con funcionalidades para recoger y enviar datos geocalizados de radiación UV, que se exponen en un sitio web que permite concientizar sobre la necesidad de tomar precauciones ante la exposición a este tipo de radiación y de los problemas que esta conlleva.

2.4 INSTRUMENTOS EMPLEADOS PARA LA OBSERVACIÓN DEL FLUJO SOLAR

En el mercado existe una gran variedad de instrumentos que permiten medir la radiación UV. Se pueden clasificar según su uso y alcance, a continuación, se describe los instrumentos más destacados, que se usan en estaciones meteorológicas.

- **Heliógrafo:** Los heliógrafos sirven para medir la duración de la luz solar, que se puede definir como el intervalo de tiempo durante el cual se ve el disco solar y determinan los períodos del día durante los cuales la intensidad de la radiación directa es superior a un cierto umbral, que está reconocido a nivel mundial y corresponde a 120 W/m^2 , en la figura 14 se puede observar el diseño de Campbell-Stokes (Fernández, 2016).

Figura 14. Heliógrafo de Campbell-Stokes



Fuente: http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/ATLAS_SOLAR.pdf

Entre los heliógrafos más utilizados se destaca el de Campbell-Stokes, el cual funciona con la ayuda de una lente esférica que concentra la radiación directa sobre un papel coloreado de textura definida; enseguida se produce una quemadura o una decoloración del papel indicando que la radiación directa es más o menos intensa, siendo la longitud de esta proporcional a la duración de la radiación solar, efectuándose su examen bajo normas muy estrictas en un proceso manual.

- **Pirheliómetro:** son instrumentos usados en la medición de la radiación solar directa. Esto se consigue colocando el sensor normalmente en el foco solar, bien sea manualmente o sobre un montaje ecuatorial automático, como sensor utiliza una placa negra, cuya temperatura varía con la radiación solar directa que llega a la placa, (Meruane, 2005). En la siguiente figura se puede observar un pirheliómetro de cavidad absoluta.

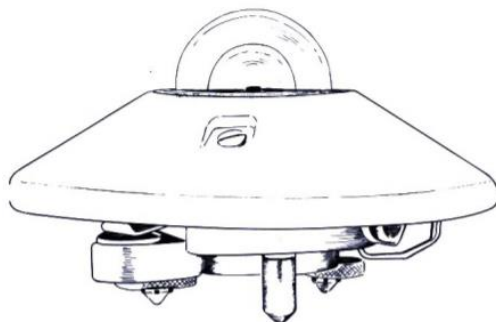
Figura 15. Pirheliómetro de Eppley modelo NIP



Fuente: <http://192.100.164.54/T/TJ810.AL101.2014-1900.pdf>

- **Piranómetros:** el pirómetro mide el flujo solar global, tanto el procedente de los rayos directos como el procedente de los rayos dispersos. Este instrumento está constituido por una termopila, cuya unión caliente está recubierta de una pintura de alta absorción, el cuerpo lo compone una pieza cilíndrica de bronce protegida por un disco de guarda pintado para reducir la absorción de irradiancia solar, ahí se aloja la circuitería electrónica y sirve de sumidero de calor para la unión fría de la termopila, cuenta con un desecante para evitar la condensación en el interior del instrumento. Se utiliza ampliamente debido a su sencillez y facilidad de calibración, probablemente un 90% o más de los datos solares del mundo se han reunido utilizando algún tipo de piranómetro, (Meinel, 1982).

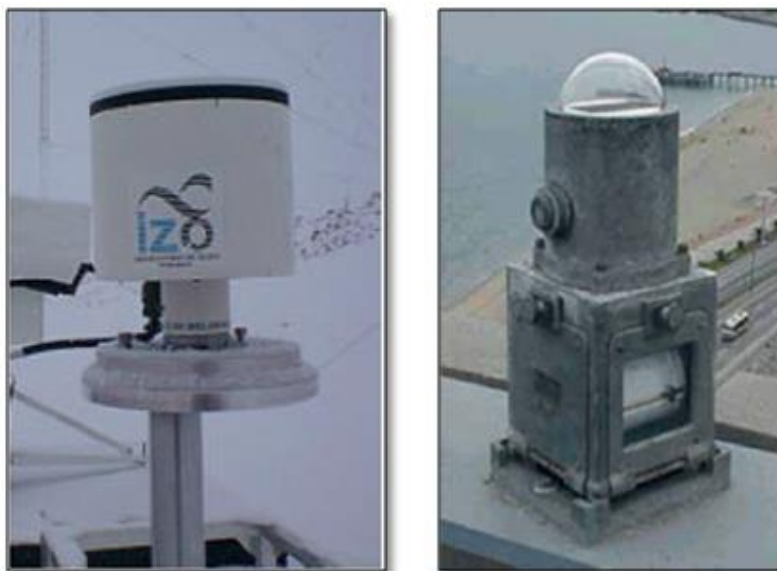
Figura 16. Piranómetro Kipp & Zonen



Fuente: http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/ATLAS_SOLAR.pdf

- **El NILU-UV6:** es un radiómetro multicanal de ancho de banda moderada, mide en cinco canales de espectro UV (305, 312, 320, 340 y 380 nm) con un ancho de banda de aproximadamente 10 nm. Posee, además, un sexto canal donde mide radiación fotosintéticamente activa (PAR, rango 400-700 nm), toma medidas de radiación global (Directa + Difusa) cada segundo. Los detectores de cada uno de los canales se mantienen a una temperatura constante de 40°C por medio de un control de temperatura interno. Estos instrumentos son capaces de simular con gran facilidad y fiabilidad el espectro completo de UV, siendo posible, mediante modelización, determinar diferentes dosis de UV biológicamente activas, el contenido total de ozono y el efecto de las nubes (factor de transmitancia de las nubes). Las ventajas frente a otros instrumentos de medida de radiación UV son su fácil manejo, bajo mantenimiento, robustez y versatilidad, (TORRES, REDONDAS, & CUEVAS, 2002).

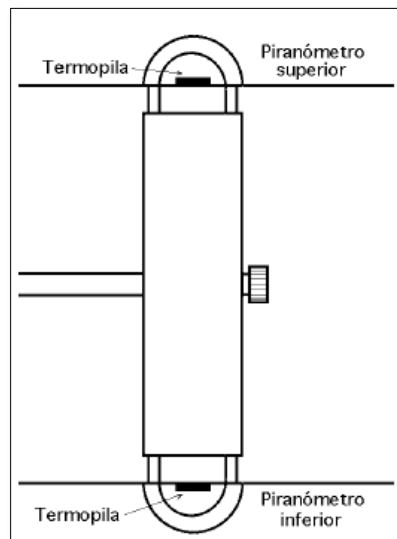
Figura 17. Radiómetro NILU-UV6 en la izquierda y actinógrafo en la derecha



Fuente: (UPME, 2005)

- **Actinógrafos:** el actinógrafo es un instrumento que funciona mediante un sensor termo mecánico, protegido por una cúpula de vidrio, conformado por un arreglo bimetálico de dos superficies, una pintada de negro y la otra blanca, que registra los valores de la radiación solar incidente mediante el trazo de una gráfica en un tambor movido por un mecanismo de reloj. Estos instrumentos se caracterizan por requerir una calibración con un patrón secundario una vez por año y operan con una precisión del $\pm 8\%$. En la Figura 17 se puede observar un actinógrafo que fue utilizado por el IDEAM en Colombia.
- **Albedómetro:** está constituido por dos piranómetros contrapuestos. Uno orientado hacia el cielo y el otro hacia la tierra. El que está orientado hacia arriba mide la radiación global (directa + difusa) que incide sobre el terreno mientras que el orientado hacia abajo mide la radiación global reflejada por el terreno, (Meinel, 1982).

Figura 18. Albedómetro

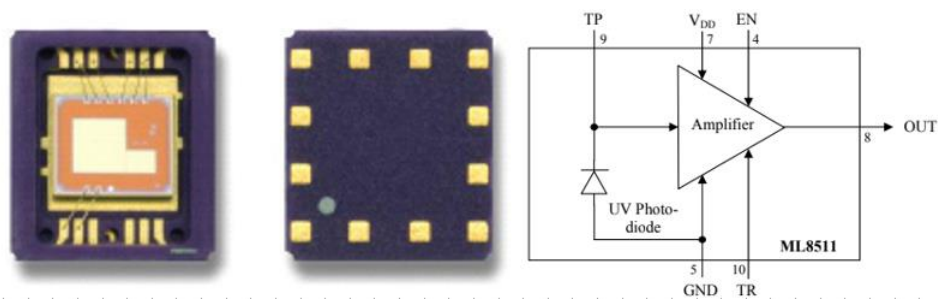


Fuente: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=3>

2.5 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS PARA MEDIR LA RADIACIÓN UV

- **Sensor ML8511:** esta clase de sensor es adecuado para aplicar en interiores con energía artificial o en exteriores con energía solar, está equipado con un amplificador interno que convierte la corriente fotoeléctrica a voltaje dependiendo de la intensidad UV que le llegue. Detecta el espectro entre 289-390nm, aproximadamente toda la radiación UV-A y UV-B, en la siguiente figura se puede observar cómo es el exterior y su esquema eléctrico.

Figura 19. Sensor ML8511 en el exterior y su esquema eléctrico.



Fuente: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf

- **Sensor GUVA-S12S:** es un fotodiodo UV cuya longitud de onda de operación está entre 240 y 370 nm, mide todo el espectro UV-B y parte del UV-A, el sensor se puede alimentar de 3.3 voltios a 5 voltios, y puede entregar en la salida de 0 a 1200mV.

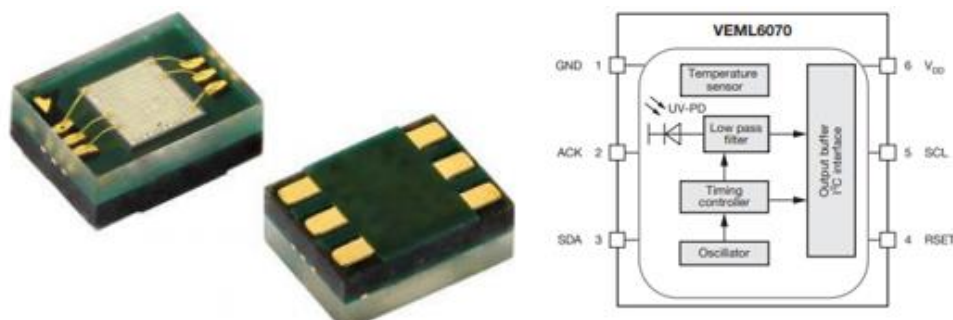
Figura 20. Sensor GUVA-S12SD



Fuente: <https://megadepot.com/product/velleman-vma328-guva-s12sd-uv-light-sensor-module>

- **Sensor VELM6070:** es un sensor digital que mide la radiación UVA, el cual se puede utilizar directamente con un controlador ya que entrega una señal digital proporcional a la irradiancia percibida, opera con un voltaje de alimentación entre 2.7vol y 5.5 Vol., permite configurar cuatro tiempos de integración entre 60 ms a 500 ms.

Figura 21. Sensor VELM6070



Fuente: <https://www.vishay.com/docs/84310/designingveml6070.pdf>

2. 6 DISPOSITIVOS EMPLEADOS PARA MEDIR EL ÍNDICE UV

- **Indicadores del UVI por escala cromática:** son el conjunto de accesorios informativos de uso personal, como pulseras o parches que cumplen con el objetivo de informar la exposición solar, a la que está expuesto el usuario. A continuación, detallamos algunos dispositivos que se consiguen en el mercado.

Figura 22. Pulseras Smatsun, Pulsera UV y Pulsera UVeBand



Fuente: <http://www.nisenet.org/>

- **La pulsera Smartsun:** esta pulsera fue desarrollada por investigadores de la Universidad de Strathclyde, Escocia y consiste en un dosímetro de rayos UV, que mide la exposición total a la radiación UVA y UVB durante un día. La incidencia de radiación se mide por variación de color, indicando cuando una persona debiera aplicarse protector solar adicional o evitar la exposición. Este pack de pulseras tiene un costo aproximado de ocho dólares, (SMARTSUN, 2018).
- **Pulsera UV:** este modelo de pulseras UV es similar a reloj, funciona comparando el color que se encuentra en la región central con los cuatro colores perimetrales que van desde el más claro, al más oscuro en función de la menor o mayor intensidad de los rayos UV. Por otro parte, la intensidad débil representa un índice UV de 1 a 2, la intensidad media un índice de 3.4, la intensidad alta un índice UV de 6 a 7, la intensidad muy alta un índice UV de 8, 9, 10, y 11. Su costo actual estimado es de 0,96 dólares, (UNIVERSIDAD DE LAS HABANA, 2018).
- **UveBand:** pulsera a prueba de agua, posee un sensor UV que mide la radiación ultravioleta cada tres segundos. Con un procesador incorporado realiza un seguimiento de monitoreo sobre la exposición al sol y vibra indicando la necesidad de reaplicar bloqueador solar. Para su funcionamiento debe encenderse a partir de la primera aplicación de filtros sobre la piel, su precio es de aproximadamente de 11 dólares, (UEBAND, 2018).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de radiación UV de bajo costo para el municipio de Neiva.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las diferentes técnicas de medición de la radiación UV.
- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo directo del índice de radiación ultravioleta que emplee sistema embebido de bajo costo.
- Diseñar una aplicación Web como herramienta de monitoreo del sistema para el servicio de los usuarios.
- Diseñar una aplicación móvil para dispositivos Android que despliegue información de los índices de radiación ultravioleta.
- Evaluar el desempeño del sistema en condiciones ambientales normales.
- Validar el sistema de monitoreo con información suministrada por el IDEAM.

4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el presente proyecto se basa en el método científico adaptado a la ingeniería, DCU (diseño centrado en el usuario), que permite proveer herramientas para lograr un producto final que sea cercano a las necesidades de los usuarios (Salinas, 2009), (Kahani, 2010) (ISO, 2010). Consta de cinco pasos a seguir que son los siguientes:

Fase 1. Búsqueda de soluciones existentes.

Fase 2. Proponer una solución (lineamientos DCU).

Fase 3. Desarrollo de la solución (lineamientos DCU).

Fase 4. Pruebas de la solución (prueba con usuarios).

Fase 5. Socialización del trabajo.

4.1 ACTIVIDADES

Fase 1. Búsqueda de soluciones existentes

- Exploración de trabajos realizados en los cuales se estudie la radiación UV
- Evaluación de técnicas de medición de radiación UV existentes.
- Exploración de instrumentos, dispositivos y sensores de medición de radiación UV.
- Evaluación de parámetros que permitan establecer criterios para realizar medidas de radiación UV.
- Exploración de herramientas informáticas que permitan llevar a cabo el procesamiento de la información y posterior despliegue de los resultados.

Fase 2. Proponer una solución basado en lineamientos DCU (ISO, 2010)

- Establecimiento del contexto de la solución teniendo en cuenta el alcance de los sistemas de medición disponibles.
- Especificación de requisitos de usuario.
- Proponer soluciones de diseño acorde a los requisitos y el alcance de las herramientas a utilizar.
- Evaluar los diseños teniendo en cuenta los requisitos de los usuarios.

Fase 3. Desarrollo de la solución

- Selección del entorno software de desarrollo apropiado para el diseño del prototipo encargado del despliegue y recolección de información.
- Montaje y adaptación del sistema de censado UV utilizando un sistema embebido Raspberry Pi.
- Diseño y construcción del módulo de almacenamiento y procesamiento de información en la nube basado en las herramientas virtuales de Windows Azure.
- Diseño y construcción del módulo de almacenamiento de información de usuario.
- Diseño y construcción del módulo de despliegue y recolección de información teniendo en cuenta necesidades del usuario acorde a los lineamientos DCU.

Fase 4. Pruebas

- Puesta en marcha de la solución.
- Diseño y desarrollo del plan de pruebas teniendo en cuenta el estado del tiempo.
- Desarrollo del plan de pruebas para evaluar el desempeño del prototipo en el monitoreo de la radiación UV.
- Diseño y desarrollo del plan de pruebas para medir la satisfacción del usuario con respecto al prototipo de acuerdo con los lineamientos DCU.

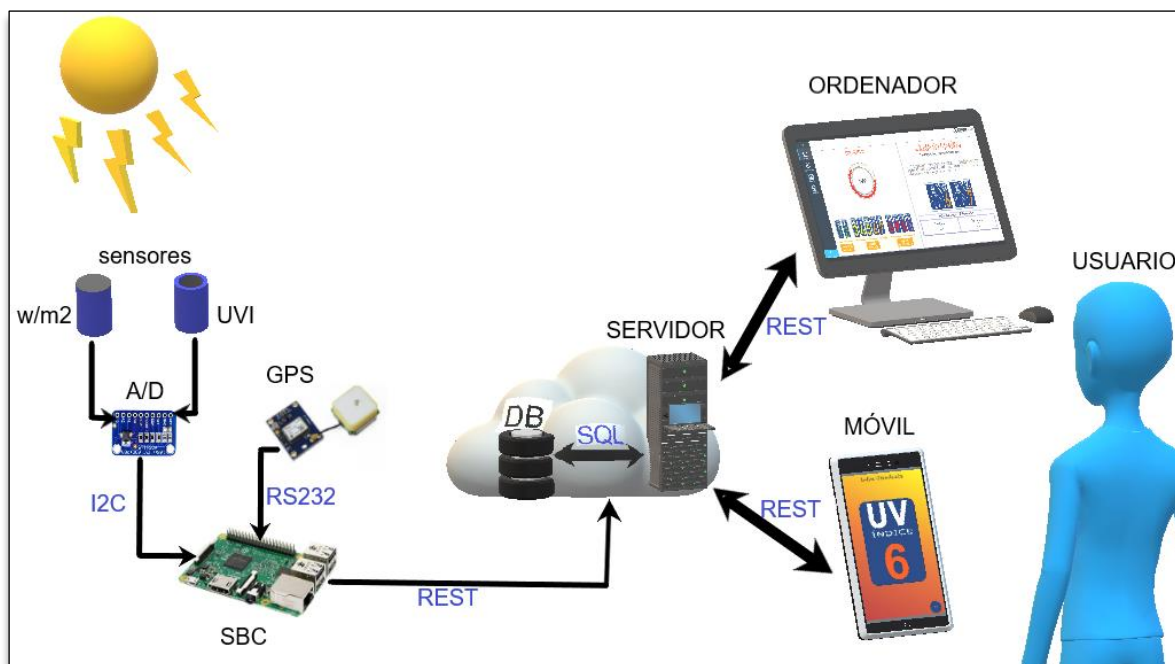
Fase 5. Socialización

- Socialización con especialistas en materia.
- Elaboración y entrega del documento final.
- Elaboración y entrega del artículo científico.
- Sustentación.

5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Con la finalidad de desarrollar un sistema de monitoreo de radiación UV para el municipio de Neiva, en la fase de diseño del equipo, se realizó un estudio preliminar que permitiera determinar la tecnología adecuada que cumpliera con los requisitos de desempeño a un bajo precio, para lo cual se definió un diagrama general del sistema con cada uno de sus componentes y funcionalidades como se indica en la siguiente figura.

Figura 23. Diagrama general del sistema de monitoreo de radiación UV



Fuente: Propia

-Selección de sensores: en el mercado existe una amplia variedad de sensores e instrumentos que permiten medir la radiación UV como se detalla en el ítem 2.5 del presente trabajo. Por lo cual, en el proceso de selección de los sensores del sistema, se propone la siguiente matriz de decisión, que permite escoger el sensor más adecuado según los criterios relevantes, como; el consumo energético, la resistencia a la intemperie, el rango espectral, la sensibilidad, la temperatura de operación, el rango de salida en voltios, el error absoluto y su precio. En la siguiente tabla se puede detallar los criterios de cinco sensores diferentes.

Tabla 3. Matriz toma de decisión selección de sensores

	SENSOR				
Criterio de Selección	PMA1101	TOCON_E2	SKU 440	TOCON ABC_6	H3 UV INDEX
Consumo de energía	9-24VDC@30mA	2.5-5VDC@150uA	5-15VDC@15mA	2.5VDC-5VDC	5-24VDC@33mA
A prueba de intemperie	Si, sumergible hasta 3m	Si	SI	SI	si
Rango espectral	280nm-320nm	280nm-405nm	280nm-315nm	227nm-360nm	230nm-395nm
Sensibilidad	117uW/cm2	170mV/UVI	33mV/UVI	2.8mV/uW/cm2	1mW/cm2
Temperatura de operación	0° a 50°	-25° a +85°	-30° a 60°	-25° a +85°	-20° a 50°
Rango de salida	0v a 5v	0v a 5v	0v a 1v	Vo-5%	0v-5v
Error absoluto	3%	3%	5%	3%	3%
Precio	120€	135€	320US	120€	510€

Fuente propia

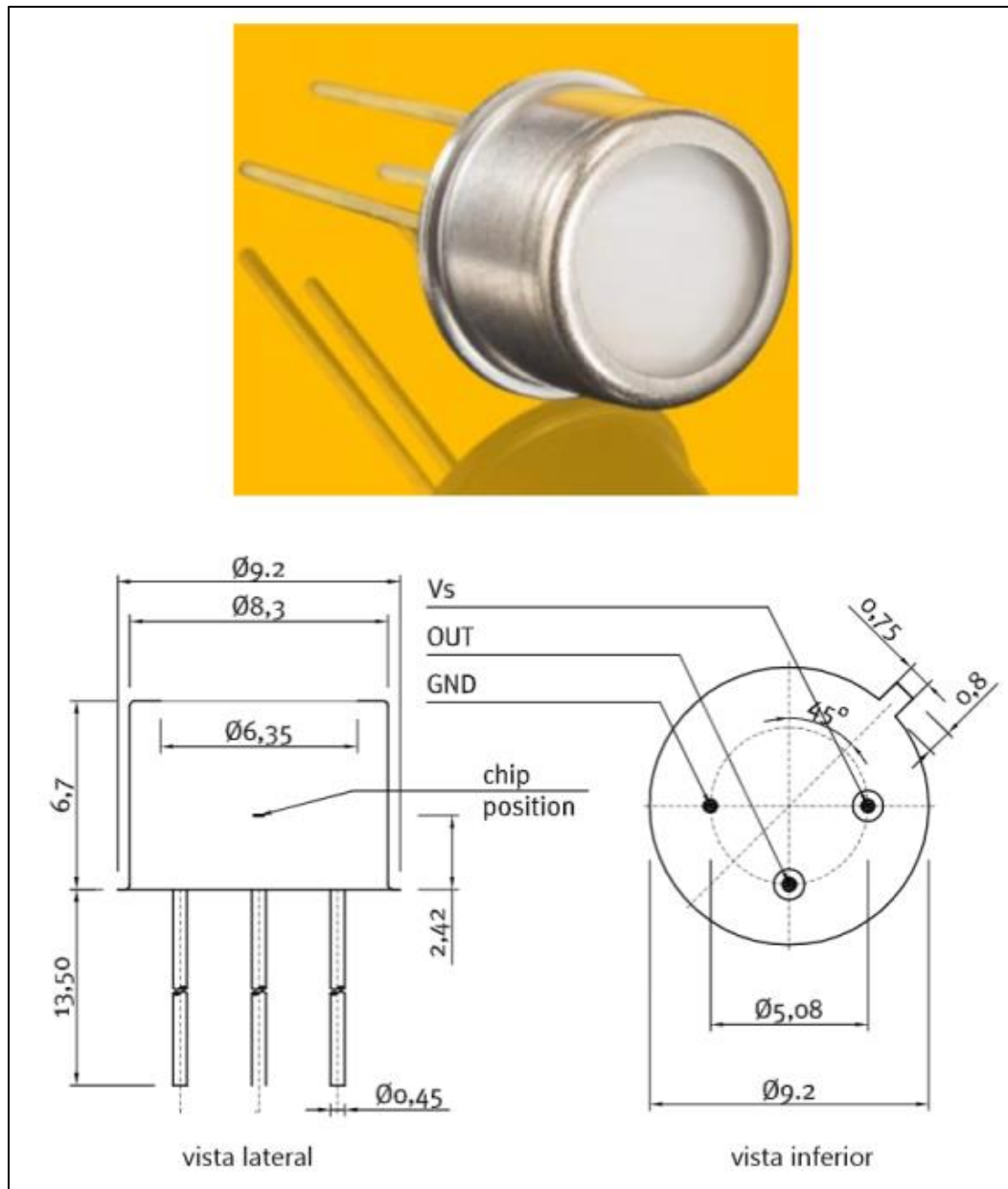
La exploración y análisis de la tecnología a implementar dio como resultado la selección de los sensores TOCON_ABC6 y TOCON_E2, considerando que son los sensores con las mejores prestaciones a un precio razonable. A continuación, se describe con más detalle las características de los sensores y demás elementos escogidos para el desarrollo del presente proyecto:

5.1 COMPONENTES Y TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA

El sistema de monitoreo de radiación ultravioleta cuenta con un equipo que integra dos sensores encargados de cuantificar la radiación UV que llega a la superficie terrestre, un módulo A/D que permite convertir la señal análoga de los sensores a digital y un módulo GPS que permite geo-referenciar cada dato que se capta de los sensores.

- **TOCON ABC_6:** este sensor es fotodetector fabricado a partir de SiC, cuenta con una salida analógica que permite obtener información fiable de la irradiancia solar que llega a la superficie de su cabezal en todo el espectro UV, con una relación de voltaje de salida versus intensidad de radiación UV de 2,8 (mV/(μ W/cm²)). Tiene un costo de 120 euros.

Figura 24. Sensor TOCON_ABC6



Fuente: https://sglux.de/en/product/tocon_abc6-en/

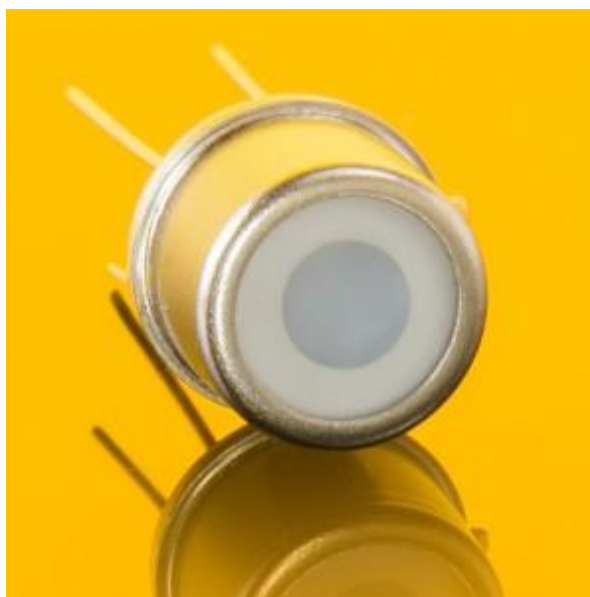
Tabla 4. Especificaciones TOCON_ABC6

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Características espectrales			
Sensibilidad aproximada	S _{max}	2,8	mV/μW/c
Respuesta espectral máxima de onda	λ _{Supply}	290	nm
Rango de respuesta (S=0.1* S _{max})	-	227 -360	nm
Ceguera visible	VB	>10	-
Características generales (T=25°C, V_{Supply} =+5V)			
Voltaje de alimentación	V _{Supply}	2,5...5	V
Voltaje de saturación	V _{Sat}	V _{Supply} -5%	V
Tensión offset	V _{offset}	50	μV
Coeficiente pico de temperatura	T _c	<-0.3	%/K
Ancho de banda (-3dB)	B	15	Hz
Tiempo de subida (10-90%)	t _{rise}	0.073	s
Valores Máximos			
Temperatura de funcionamiento	T _{opt}	-25 ... +85	°C
Temperatura de almacenamiento	T _{stor}	-40 ... +100	°C
Temperatura Soldadura (3s)	T _{sold}	300	°C

Fuente: (SgLux, 2018).

- **TOCON_E2:** este sensor fabricado a partir de SiC permite realizar lecturas en el espectro UV, ajustadas a la curva del Eritema aceptada para la medida del índice de radiación ultravioleta UVI. Su costo aproximado es 135 euros, se puede observar en la siguiente figura

Figura 25. Sensor TOCON_E2



Fuente: https://sglux.de/en/product/tocon_e2-en/

Tabla 5. Especificaciones TOCON_E2

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Características espectrales			
Sensibilidad aproximada	S _{max}	170	mV/UVI
Características Generales			
Tensión de alimentación	V _{Supply}	2,5 ... 5	V
Voltaje de saturación	V _{Sat}	V _{Supply} - 5%	V
Tensión offset	V _{Offset}	50	μV
Coeficiente pico de temperatura	T _c	< -0,3	%/K
Consumo de corriente	I	150	μA
Ancho de banda (-3 dB)	B	15	Hz
Tiempo de subida (10-90%)	trise	0,182	S
Valores Máximos			
Temperatura de funcionamiento	T _{opt}	-25 ... +85	°C
Temperatura de almacenamiento	T _{stor}	-40 ... +100	°C
Temperatura Soldadura (3s)	T _{sold}	300	°C

Fuente: (Lux, 2018).

- **Ordenador de placa reducida Raspberry Pi 3:** se caracteriza por tener un tamaño reducido y un alto nivel de procesamiento, cuenta con entradas digital denominadas GPIO, que permite conectar sensores y diferentes componentes electrónicos capaces de capturar información del mundo exterior; esta tarjeta de desarrollo es capaz de comunicarse utilizando interfaces de red (ethernet y wifi) y permite, un control de esta mediante SSH. Una de las desventajas principales de este dispositivo es que no posee conversores análogos digitales, por tanto, es necesario vincular dispositivos externos para esta tarea cuando el sistema lo requiere; su principal ventaja es su bajo costo, debido a que se puede adquirir en aproximadamente 45 dólares.

Figura 26. Tarjeta raspberry pi 3



Fuente: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

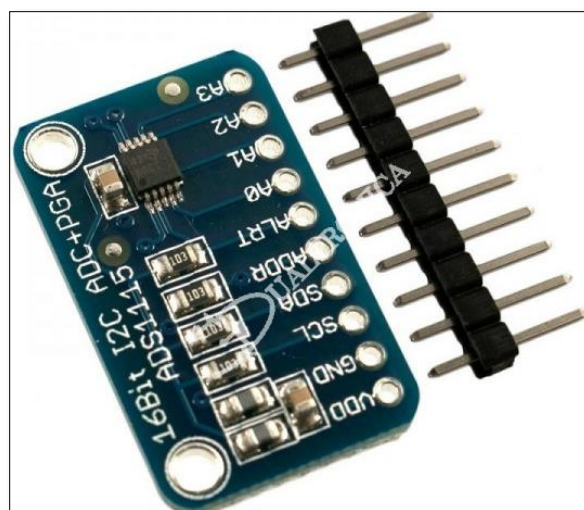
Tabla 6. Especificaciones tarjeta Raspberry pi 3

	RASPBERRY PI 3
SOC	Broadcom BCM2836
CPU	ARM11 ARMv7 ARM Cortex-A7 4 núcleos @ 900 MHz
GPU	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0
RAM	1 GB LPDDR2 SDRAM 450 MHz
USB 2.0	4 puertos USB
GPIO	40 pines
Salidas de vídeo	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles
Almacenamiento	microSD
Ethernet	10/100 Mbps
Tamaño	85,60x56,5 mm
Peso	45 g
Consumo	5v, 900mA

Fuente: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

- **Convertor análogo digital (A/D):** el módulo ADS1115 permite convertir las señales análogas en señales digitales de 16bits, diseñado para brindar precisión, eficacia energética y facilidad de implementación. Permite conversiones a velocidades de datos programables que llegan hasta las 860 muestras por segundo (sps), con un consumo de sólo 150 μ A (valor típico) de corriente de alimentación, su costo es de aproximadamente cuatro dólares.

Figura 27. Modulo A/D ADS1115



Fuente: <https://dualtronica.com/>

- **Especificaciones módulos A/D ADS1115:**

-**Resolución:** 16 Bits.

-**Frecuencia de muestreo programable:** 8 a 860 muestras / segundo.

-**Fuente de alimentación / niveles lógicos:** 2.0V a 5.5V.

-**Bajo consumo de corriente:** solo 150 μ A.

-**Oscilador interno:** 19.2MHz

-**Amplificador de ganancia:** programable [PGA] (x2/3, x1, x2, x4, x8, x16)

-**Interfaz I2C:** 4 pines.

-**Comparador programable.**

- **GPS:** el módulo GPS incorporado en el sistema es el NEO 6m, el cual se alimenta con 5v y cuenta con una antena cerámica, es de fácil implementación y accesible en el mercado, tiene un costo de aproximado de 14 dólares.

Tabla 7. Especificaciones modulo GPS NEO 6M

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN	VALOR
Sensibilidad	Rastreo Adquisición	-165dBm -148dBm
Precisión	Posición Velocidad Sincronización (PPS)	3mts. 3D RMS sin SA 0.1m/s sin SA 60ns RMS
Tiempo de lectura	Inicialización Arranque en caliente Arranque en caliente Readquisición	36s 33s 1s <1s
Consumo de energía	Rastreo Adquisición	<30mA @ 3V Vcc 40mA
Frecuencia	Frecuencia de actualización de datos	1HZ
Especificaciones de antena	Dimensiones Frecuencia central Ancho de banda Impedancia radio axial Polarización	18.2 x 18.2 x 4.0 mm 1575 \pm 3 MHz 10 MHz min 50 Ω 3 dB max RHCP
Dimensiones y peso	Dimensiones Peso	30mm x20mm x 11.4mm; 9gramos
Fuente de poder	VCC Corriente	5V \pm 5% 55mA
Entorno	Temperatura de operación. Temperatura de almacenamiento.	40-85 (sin batería de respaldo) 0 ~ +125

Fuente: <http://cort.as/-EVyG>

Figura 28. Módulo GPS NEO 6m



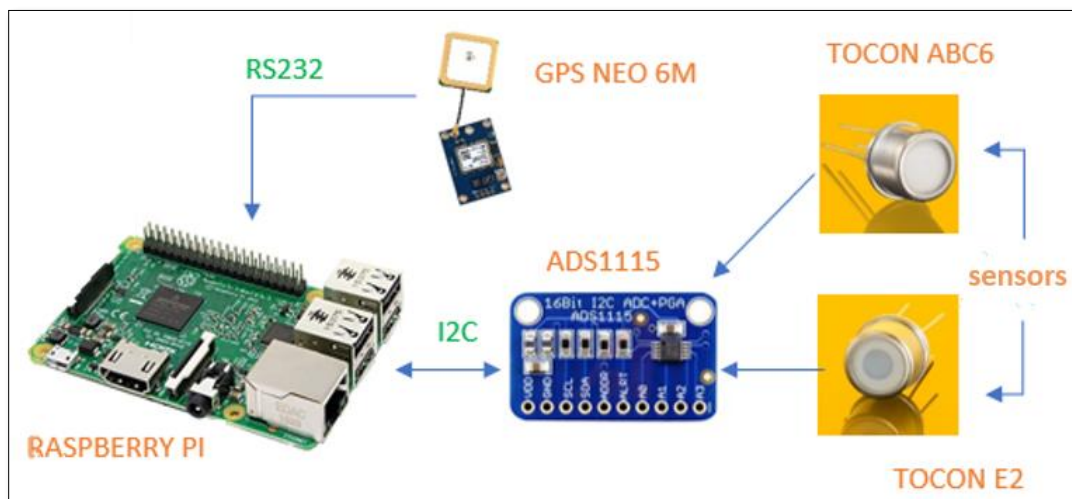
Fuente: <http://cort.as/-EVyG>

5.2 DISEÑO DEL HARDWARE

El equipo encargado de captar datos del medio exterior es uno de los módulos más importantes, puesto que gracias a el funcionamiento de este el sistema puede cumplir con su objetivo y recopilar información. En el diseño del hardware se tuvo especial cuidado con hecho de que debe operar a la intemperie, razón por la cual requiere una protección especial para cada componente. En el hardware del sistema se integraron módulos y sensores que permitieron cuantificar la radiación UV que llega a la superficie terrestre donde se instala el equipo, cuenta con una tarjeta madre Raspberry PI que permite leer tres señales diferentes; la primera proveniente del módulo GPS NEO 6M, que entrega en una señal digital la localización del sistema, y se puede conectar directamente a la tarjeta en alguna de sus entradas GPIO; la segunda proveniente del sensor foto-detector TOCON ABC6 de SiC, que percibe la radiación UV entre los 227 a 360nm y entrega una señal análoga con una resolución de 2.8 mV/uW/cm²; y la tercera proveniente del sensor TOCON E2, que cuenta con un amplificador para entregar una señal proporcional al UVI que recibe, con una resolución de 170mV/UVI, en un rango de operación de 0 a 30 UVI. Las señales análogas de los sensores TOCONS requieren pasar por una conversión A/D por lo cual se implementó el módulo ADS1115 ajustado a una ganancia de 2/3. En la Figura 29 se detalla la arquitectura del hardware.

La tarjeta Raspberry Pi 3 se puede alimentar con un adaptador de corriente continua, que entregue cinco voltios a 2500mA. Esta tarjeta cuenta con 40 pines GPIO, de los cuales los pines 2 y 4 sirven como fuente de alimentación de 5 voltios y los pines 6, 9, 14, 20, 25, 30, 34 y 39 como tierra; gracias a esta funcionalidad se pueden alimentar los sensores y los módulos, sin necesidad de una fuente externa.

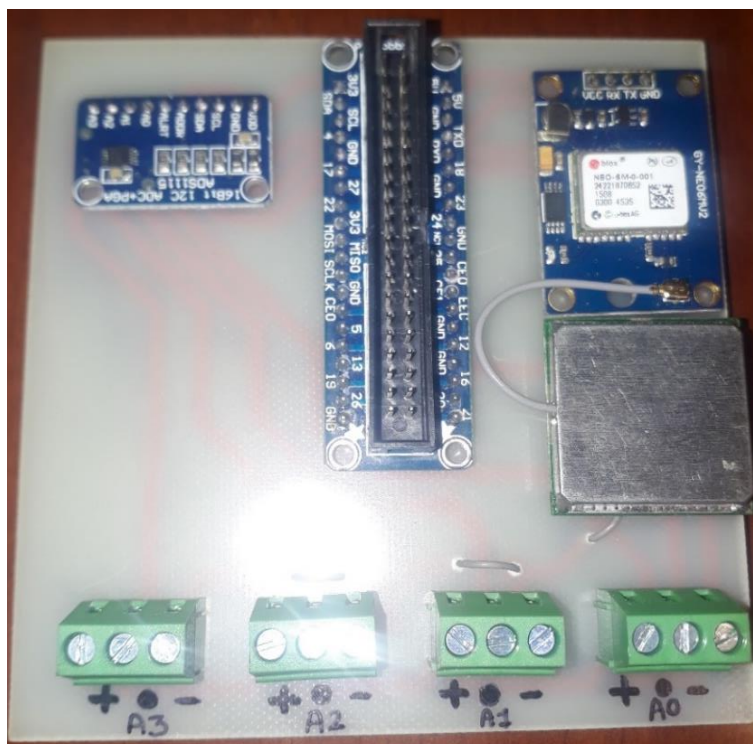
Figura 29. Arquitectura del hardware



Fuente: Propia

Una vez detallada la arquitectura del sistema se buscó integrar todos los componentes en un solo equipo de forma que sea fácil de instalar y pueda operar a la intemperie. En la siguiente figura se detalla el circuito que integra todos los componentes.

Figura 30. Circuito equipo recolector de datos

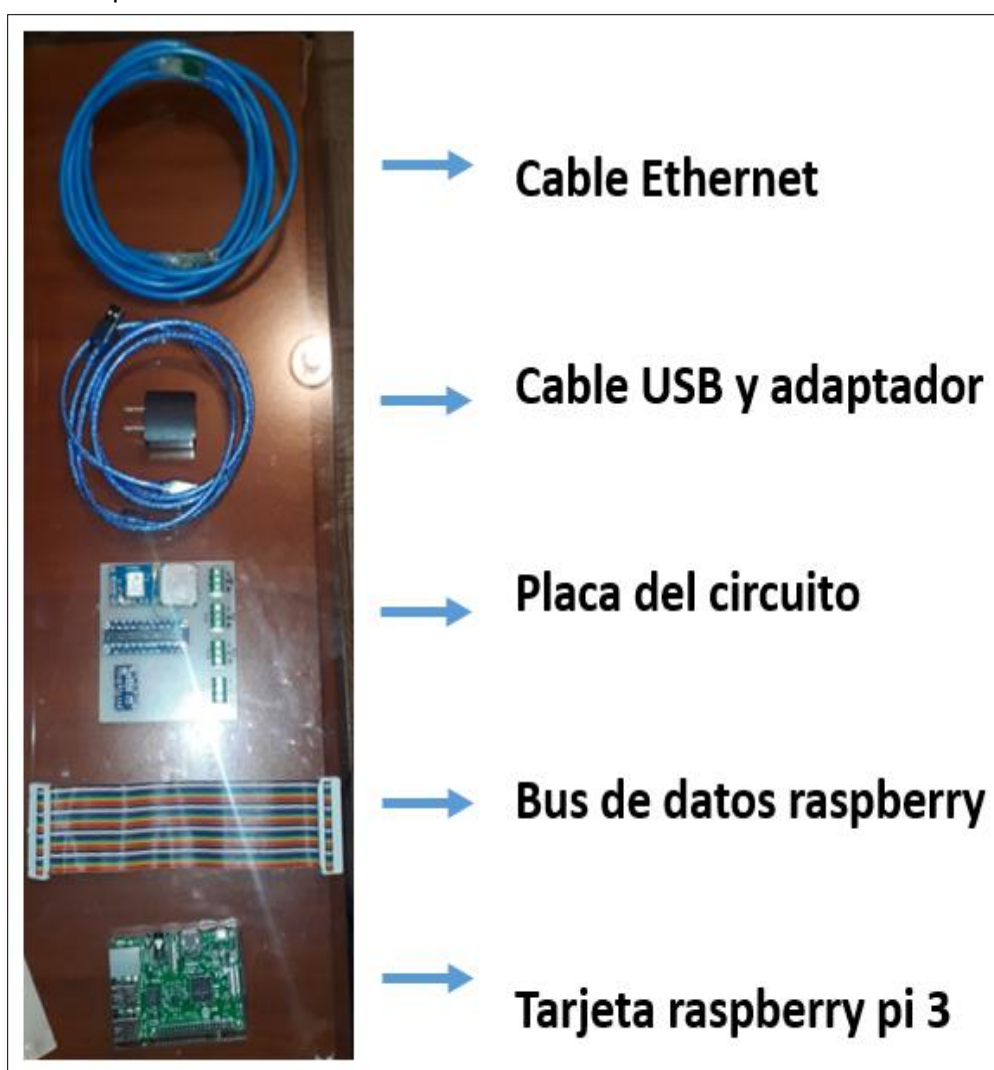


Fuente: Propia

-AUTONOMÍA DEL SISTEMA: El sistema de monitoreo de radiación ultravioleta que se plantea en el presente trabajo, se alimenta de la red eléctrica domiciliaria de 110v a 60hz, por medio de un adaptador de voltaje AC/DC que se conecta directamente a la tarjeta raspberry pi y esta a su vez alimenta con voltaje DC el circuito recolector de datos que se observa en la Figura 30. La conexión a la red de internet se realiza por medio de un cable ethernet que se conecta directamente a la tarjeta raspberry pi, de forma que puede acceder al servidor desde cualquier punto donde se cuente con una red eléctrica y de internet estable.

-COMPONENTES DEL SISTEMA: en la siguiente figura se pueden observar cada uno de los componentes del sistema recolector de datos.

Figura 31. Componentes del sistema recolector de datos



Fuente: Propia

-CALIBRACIÓN DEL EQUIPO: El equipo recolector de datos opera principalmente con los datos que se recolectan con los sensores TOCONs los cuales ya vienen previamente calibrados de fábrica, para comprobar su buen funcionamiento se utilizó el Kit starter TOCON que se observa el Figura 32, el cual permite conectar los sensores TOCONs a una fuente de 5v que se regulan a partir de una batería de 9v, y medir la salida de los sensores con un voltímetro.

Figura 32. Kit starter TOCON



Fuente: <https://sglux.de/en/produkt/tocon-starter-kit-en/>

En el proceso para verificar el correcto funcionamiento de los sensores se expuso los sensores a tres tipos de luz diferente, la primera en la que se tapa por completo el cabezal de sensor, la segunda con algo de luz bajo una sombra y la tercera en plena luz del día, como se detalla en la siguiente figura donde se puede observar que la medición sin luz es de 0 voltios, con luz a la sombra es de 0.7 milivoltios y con la luz del día de las 8 am es de 0.581 voltios. Las medidas en diferente intensidad de luz permitieron validar el buen funcionamiento del sensor al tener una sensibilidad proporcional a la luz a la que se expone.

Figura 33. Lectura del voltaje de salida en diferentes exposiciones de luz.



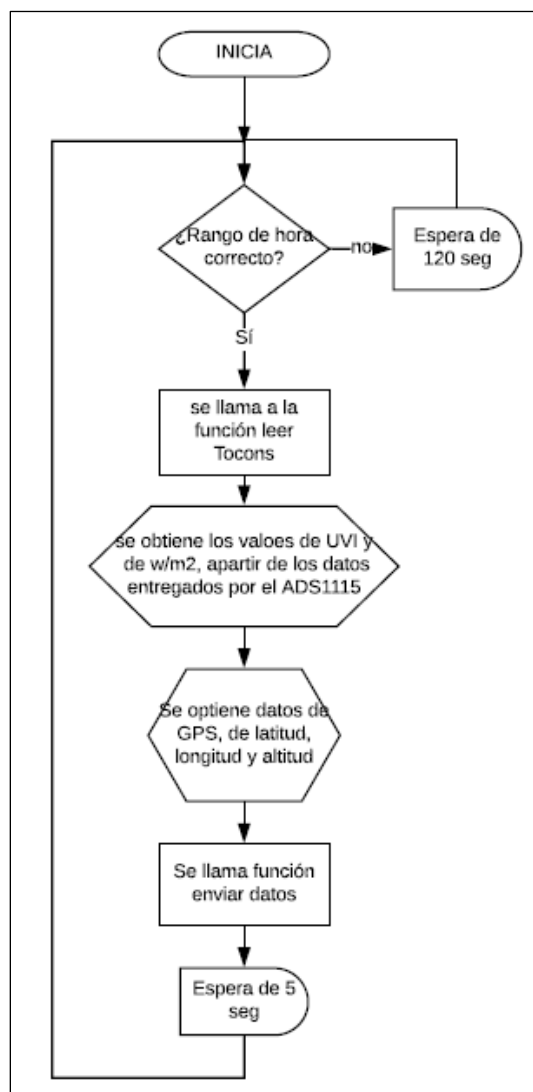
Fuente: Propia

5.3 DISEÑO DEL SOFTWARE

El software del sistema se desarrolló aplicando un diseño centrado en el usuario, que facilite la interpretación de los datos ahí desplegados. Para lo cual se emplearon diferentes entornos de desarrollo en el caso del *back-end* se usó Netbeans, en el caso del diseño *Front-End* para la aplicación web se usó Sencha Architect, en el caso de la aplicación móvil se usó Android Studio y para la base de datos se usó MySQL.

En la tarjeta Raspberry se ejecutó un script en Python encargado de recibir y convertir los datos captados por los sensores y enviarlos al servidor. En la siguiente figura se detalla en un diagrama de flujo las operaciones que ejecuta el script.

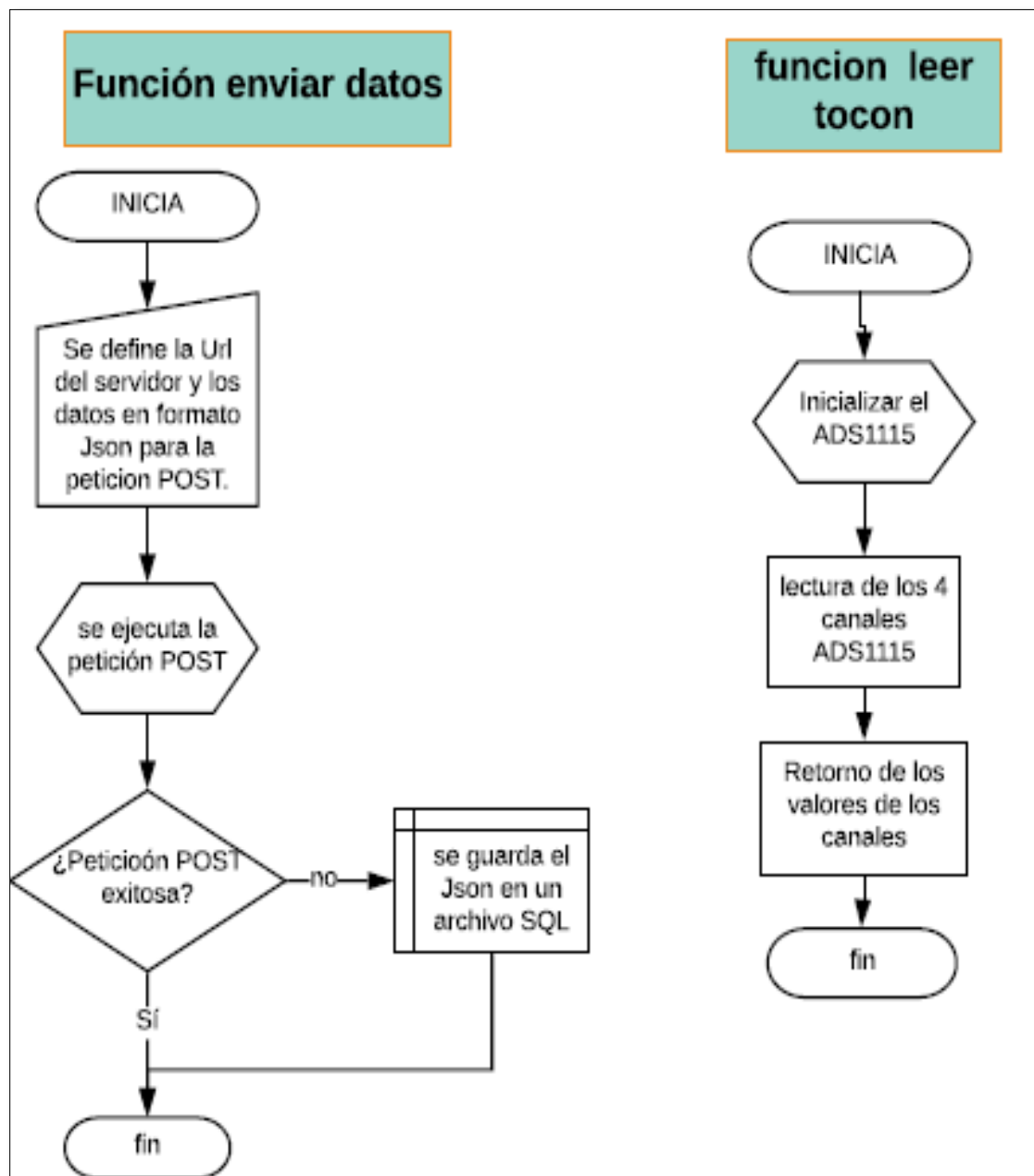
Figura 34. Diagrama de flujo script Raspberry



Fuente: Propia

La función leer Tocons, se encargada de inicializar y leer los 4 canales del conversor análogo digital ADS1115, que permite recibir las señales análogas de los sensores Tocons. La función enviar datos se encarga de definir y enviar los datos al servidor como se indica en los siguientes diagramas de flujo.

Figura 35. Diagramas de flujo función envió de datos y función leer tocons

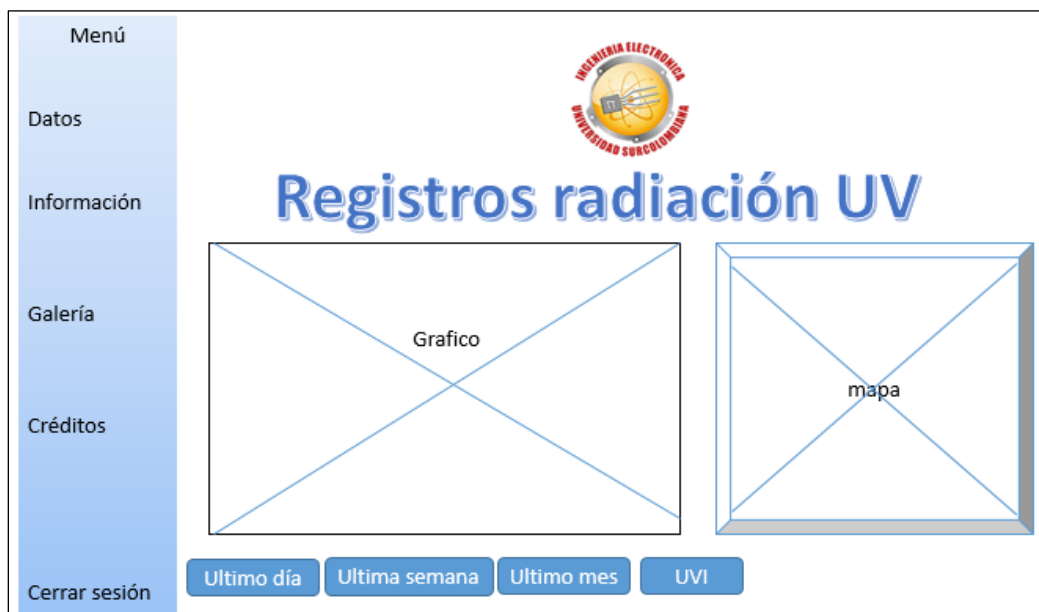


Fuente: Propia

5.3.1 Diseño front- end aplicación web

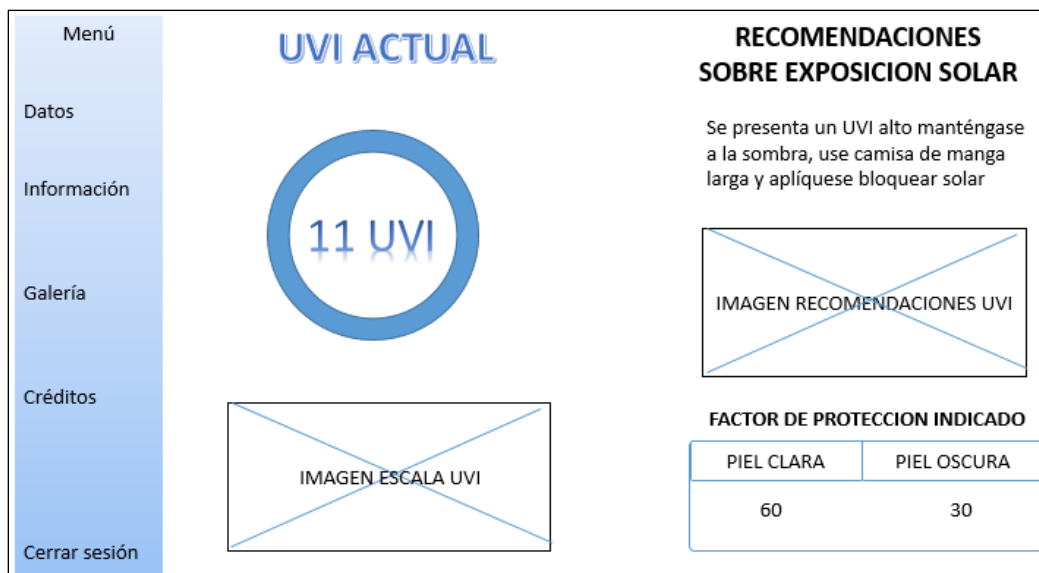
Para el diseño de la página web se realizó inicialmente un prototipo que describiera la forma gráfica como quedaría la visualización de la página. En las siguientes figuras se puede observar la maquetación preliminar de la página Web.

Figura 36. Maquetación página principal aplicación Web.



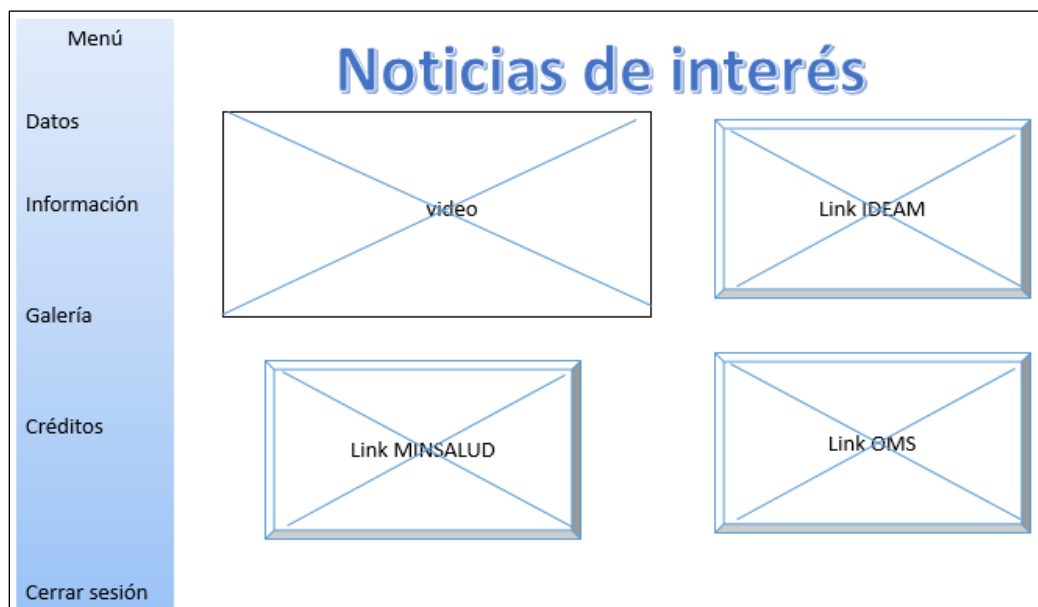
Fuente: Propia

Figura 37. Maquetación página secundaria aplicación Web.



Fuente: Propia

Figura 38. Maquetación página terciaria aplicación Web



Fuente: Propia

Una vez realizada la maquetación de la aplicación web, se dispuso a implementar el diseño para el *front-end* en el Framework ExtJS sobre el software Sencha Architect 3.5.1; el cual cuenta con múltiples herramientas que facilitan el desarrollo de la aplicación de forma profesional e intuitiva. A continuación, se puede observar el resultado de la implementación realizada

Figura 39. Pantalla principal aplicación Web



Fuente: Propia

Figura 40. Pantalla secundaria aplicación Web

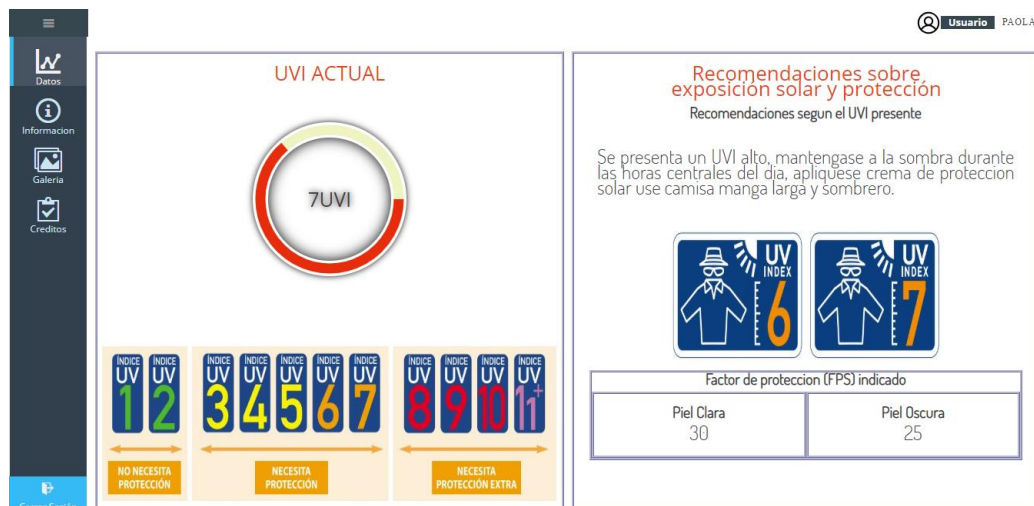


Figura 41. Tercera pantalla de la aplicación Web



Figura 42. Pantallas de inicio de sección y registro

The figure shows two screenshots of the web application's login and registration screens. The left screenshot is the 'Inicio de sesión' (Login) screen, featuring a large sun icon and the text 'UV.RADIATION'. It has input fields for 'Correo' (Email) and 'Contraseña' (Password), and buttons for 'Entrar' (Login) and 'Registrarme' (Register). The right screenshot is the 'Registro' (Registration) screen, which has a title bar with a close button. It contains a form titled 'Mi Registro' with input fields for 'Nombre', 'Correo', 'Contraseña', and 'Confirmar contraseña'. At the bottom are 'Cancelar' and 'Registrarme' buttons.

Fuente: Propia

Figura 43. Pantalla información aplicación móvil.



Figura 44. Pantalla de galería aplicación Web



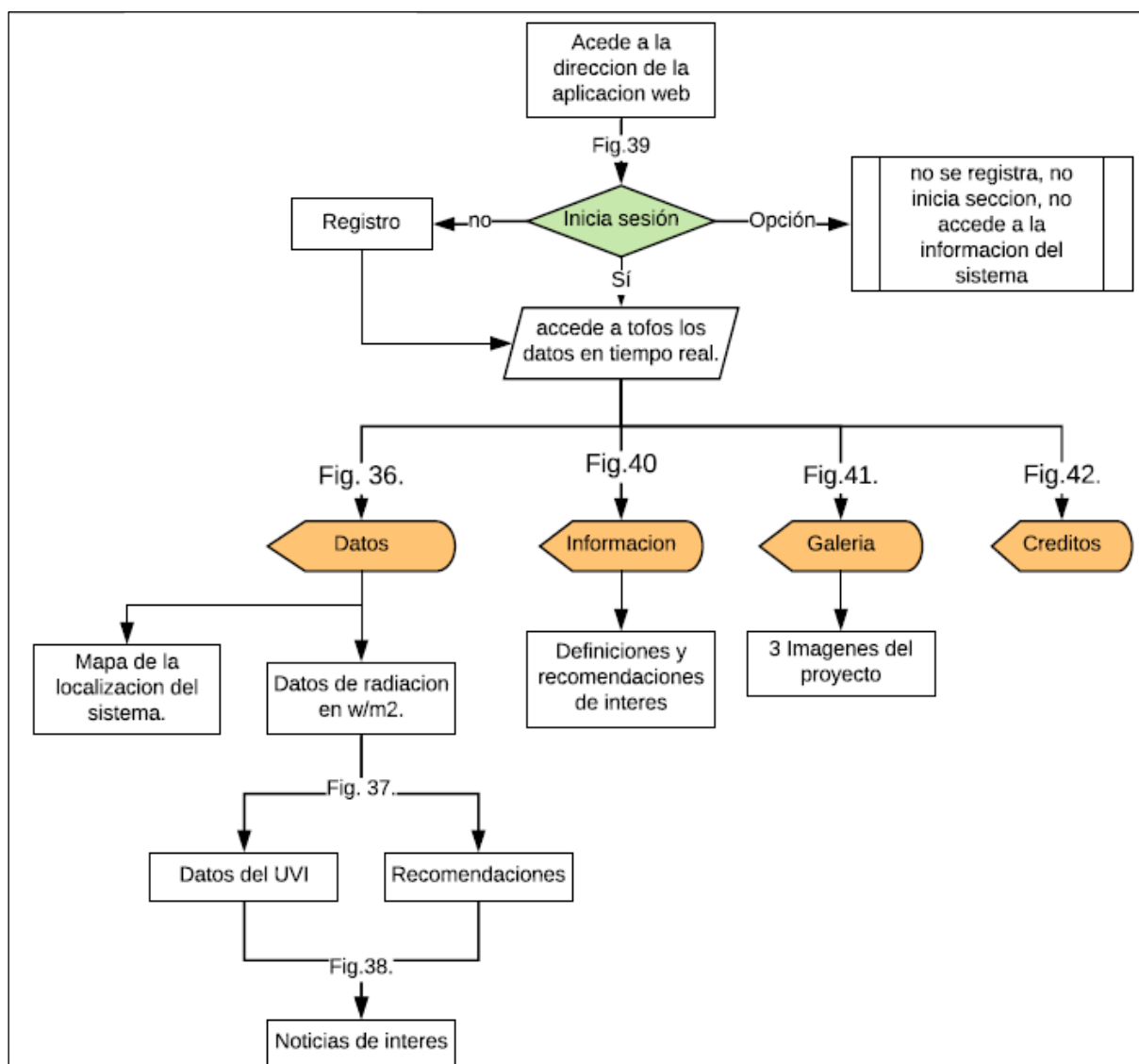
Figura 45. Pantalla créditos aplicación Web.



Fuente: Propia

- Interacción del usuario con aplicación web: Esta plataforma tiene como fin desplegar la información captada por el sistema de monitoreo de radiación UV de forma clara y detallada, de modo que el usuario que desee acceder a esta información diligencie un registro con los datos de correo, nombre y contraseña, que le permitan acceder con sus credenciales a la plataforma, una vez realizado el registro, puede acceder a toda la información en tiempo real de la irradiación solar y el índice UV con su respectiva geo-localización, además puede conocer en detalle el histograma de los datos registrados en los periodos del último día, última semana y último mes. Así el usuario puede determinar si esta información le implica o le es de interés, por su zona de afectación. A continuación, se describe en un mapa conceptual como el usuario puede navegar a través de las pantallas de la aplicación web.

Figura 46. Mapa conceptual interacción aplicación web.



Fuente: Propia

5.3.2 Diseño *front-end* aplicación móvil

Para la aplicación móvil de igual forma que en la aplicación web se realizó una maquetación preliminar que contiene tres pantallas, la principal, que se observa en la Figura 47, donde se expone con una imagen el índice UV actual. En la parte inferior derecha se ubicó un botón que permite navegar entre las pantallas de notificación e información que se pueden ver en la Figura 48 y Figura 49. En el diseño de esta aplicación se buscó que sea sencilla de usar y fácil de interpretar, la información que se puede conocer en esta aplicación en clara y precisa, los datos ahí mostrados se pueden complementar con la información que se encuentra en la aplicación web.

Figura 47. Maquetación página principal aplicación Móvil

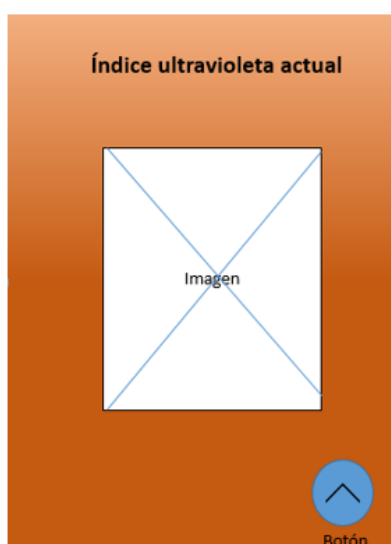
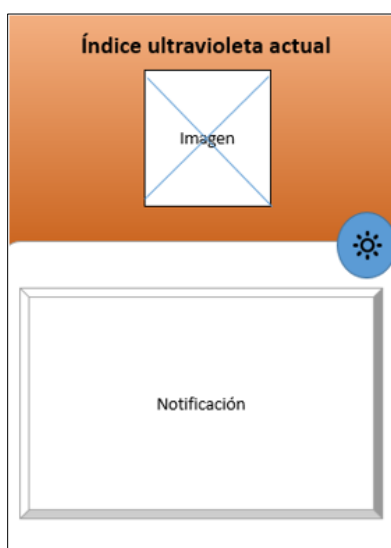
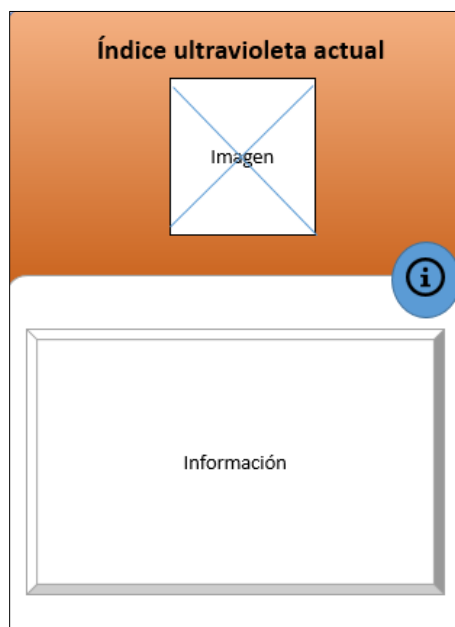


Figura 48. Maquetación página secundaria aplicación móvil



Fuente: Propia

Figura 49. Maquetación página secundaria aplicación móvil



Con el diseño de la anterior maquetación se dispuso a implementar la aplicación móvil sobre Android Studio, aplicando lenguaje Kotlin. Las vistas de cada pantalla se pueden observar en las siguientes figuras.

Figura 50. Pantalla principal aplicación móvil



Fuente: Propia

Figura 51. Pantalla información aplicación Móvil

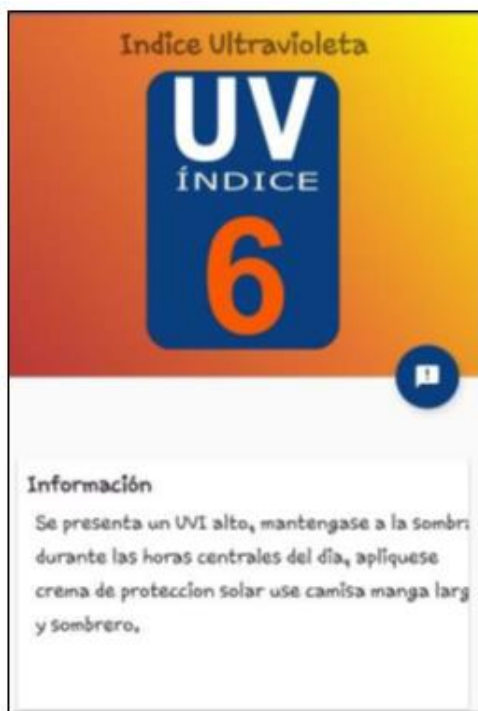


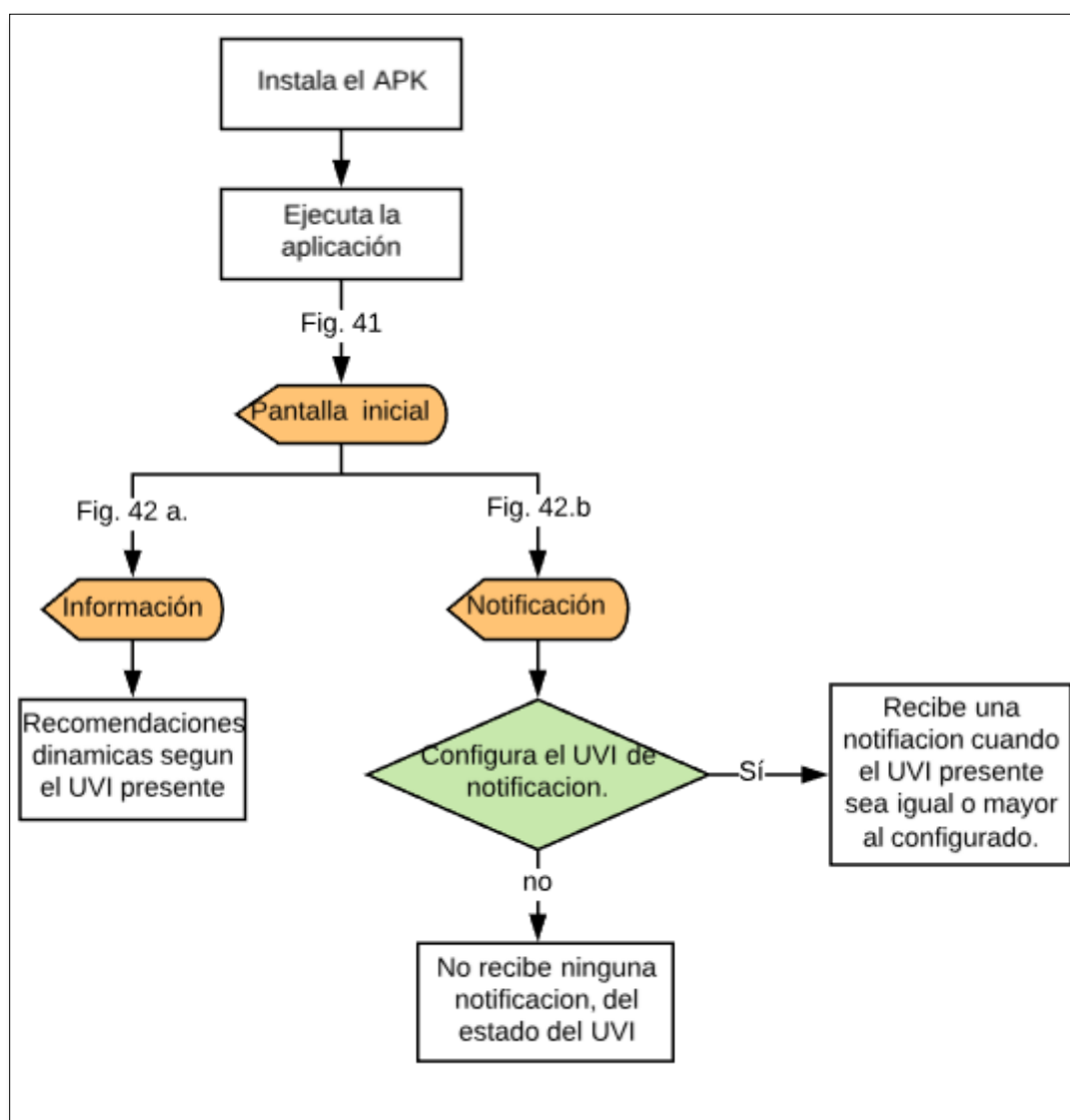
Figura 52. Pantalla notificaciones aplicación Móvil



Fuente: Propia

-Interacción del usuario con aplicación móvil: La aplicación móvil está diseñada para brindarle al usuario información específica del UVI, con las recomendaciones sobre exposición solar, además como un plus de la aplicación se creó un sistema de alarma que le permita al usuario configurar el rango del índice UVI a partir del cual quiera enterarse, el usuario puede determinar según su fototipo de piel o cualquier otro interés, cual es el UVI que quiere ser informado en tiempo real, seleccionando un rango de 0 a 11 UVI. La herramienta tecnológica que permite el envío y manejo de notificaciones se basó en la API de Firebase y fue implementada en la aplicación móvil. En el mapa conceptual que se presenta a continuación se describe como el usuario interactúa entre las diferentes pantallas de la aplicación.

Figura 53. Mapa conceptual interacción aplicación móvil



Fuente: Propia

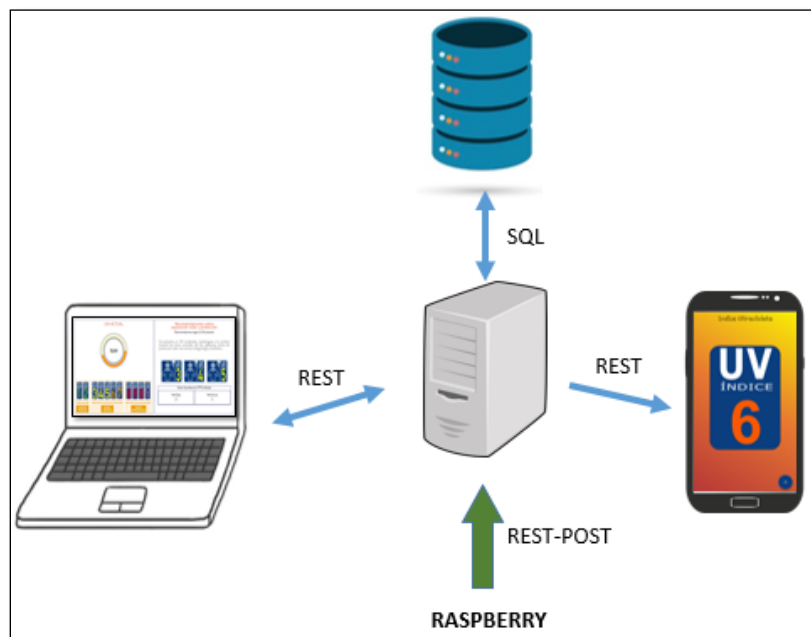
5.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN UTILIZADOS

- **HTML, CSS Y JS:** se utilizaron para el diseño de la vista del lado del cliente o *front-end*, con la ayuda del *framework ExtJS*.
- **JAVA:** se tuvo en cuenta el *framework Spring Boot*, utilizando lenguaje java, para llevar a cabo implementaciones del lado del *Back En*, donde se emplean protocolos de comunicación *REST*, y se lleva a cabo el acceso a datos del sistema central que comunica a las aplicaciones.
- **KOTLIN:** se utiliza este lenguaje para construir la aplicación móvil por ser una herramienta moderna de fácil implementación.
- **SQL:** se utiliza en la administración de información que contiene la base de datos, se ejecuta sobre MySQL

6. SERVIDOR

El servidor del sistema se realizó sobre el entorno de desarrollo integrado NetBeans IDE 8.2, encargado de organizar la información adquirida e insertarla en la base de datos; validar las credenciales de los usuarios registrados en la aplicación web, proveer información a la aplicación móvil y administrar el despliegue de las lecturas presentes y pasadas del sistema. En la siguiente figura se representa las interacciones del servidor y la administración de datos.

Figura 54. Interacciones servidor



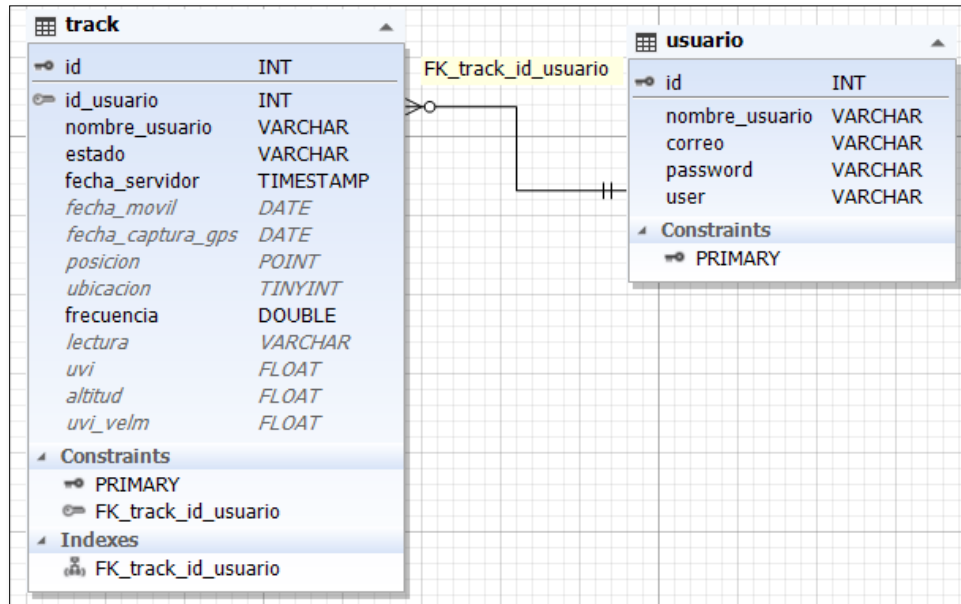
Fuente: Propia

6.1 ADMINISTRACIÓN DE INFORMACIÓN

La información con la que opera el sistema se basa en los datos que se adquieren mediante los sensores TOCON y el GPS, complementándose con la fecha y hora del sistema, brindándole un soporte tanto a la aplicación web como a la aplicación móvil. Posteriormente a la recolección de información se almacena en una base de datos los registros del sistema y la información del usuario, en dos tablas diferentes, una encargada de consignar las credenciales de los usuarios que se registran en la aplicación web llamada “usuario”, y otra para el registro de los datos recolectados llamada “track”, que permiten administrar el sistema de información.

En la siguiente figura se describe el esquema grafico de la base de datos y la relación entre los distintos campos y tablas que lo componen.

Figura 55. Diagrama relacional base de datos



Fuente: Propia

Los campos que componen la tabla *usuario* son:

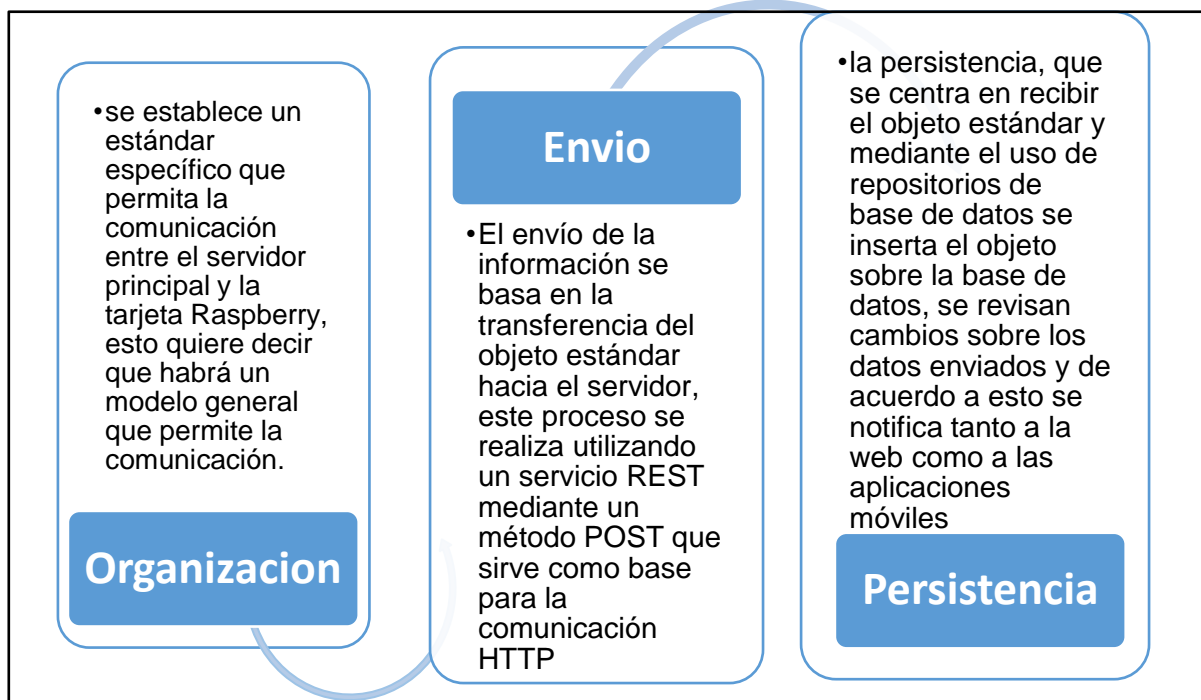
- **Id:** Campo de tipo entero que almacena el identificador único del usuario dentro de la base de datos.
- **password:** Campo tipo texto que contiene la contraseña de acceso de los usuarios registrados.
- **nombre_usuario:** Nombre que provee el usuario para que sea identificado por el sistema.
- **correo:** identificador que provee el usuario, con el cual inicia sesión.

Los campos que componen la tabla *track* son:

- **id:** Campo tipo entero que es útil para identificar el registro dentro de todo el servidor de bases de datos.
- **id_usuario:** campo tipo entero que será útil para diferenciar y establecer capturas de datos destinadas a algunos usuarios específicos.
- **estado:** campo que servirá para diferenciar e insertar el estado de la unidad que inserta el dato.
- **fecha_servidor:** Este campo es utilizado para llevar un control del tiempo en la cual se inserta el dato.

- **fecha_móvil:** Este campo tipo fecha es utilizado para registrar la fecha de la estación móvil utilizada.
- **fecha_captura_gps:** Este campo tipo fecha es utilizado para establecer la fecha de captura del GPS
- **posición:** Este campo tipo *point* es utilizado para establecer la posición en la cual fue capturada la información. Integra longitud y latitud.
- **ubicación:** Campo tipo entero pequeño es pensado para establecer cuando una lectura tiene ubicación.
- **frecuencia:** Campo tipo *double* que sirve para establecer la frecuencia en la cual se capturarán datos de los sensores incorporados en el sistema.
- **lectura:** Este campo tipo *varchar* sirve para establecer la lectura del sensor análogo TOCON_ABC6.
- **uvi:** Campo tipo *float*, sirve para ser utilizado en el ingreso de la información captada por el sensor TOCON_E2.
- **altitud:** este campo tipo flotante sirve para establecer información sobre la altitud a la cual se toma la captura de datos.

6.2 ORGANIZACIÓN Y PERSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN



Fuente: Propia

7. VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN

7.1 DESARROLLO

Para validar la información recolectada por el sistema diseñado, fue necesario acceder a otro sistema que sirva de referencia, con el cual se pueda captar datos en el mismo lugar simultáneamente, de forma que se consiga reducir las discrepancias que se pueden presentar entre los sistemas, a causa de factores como las condiciones atmosféricas, la altura a nivel del mar, la densidad de nubes presentes en el cielo, entre otros.

Al considerar que actualmente en la ciudad de Neiva, el IDEAM no cuenta con equipos que monitoreen la radiación UV incidente en la superficie terrestre, fue necesario acceder a otro sistema que sirva de referencia, en este caso, se consiguió un permiso de acceso en la estación automática del IDEAM No 52045080, ubicada en la ciudad de Pasto-Nariño, la cual está equipada con un piranómetro de referencia: CM11, como sensor principal para la medición de la radiación UV, los datos recolectados por dicha estación se cargan al sistema meteorológico del IDEAM al que solo tienen acceso de forma inmediata el personal de la entidad, por lo cual, el director del IDEAM seccional Nariño amablemente aportó a diario los datos de radiación registrados en la base de datos del IDEAM, para efectos de estudio del presente trabajo.

Figura 56. Validación del sistema con estación meteorología del IDEAM



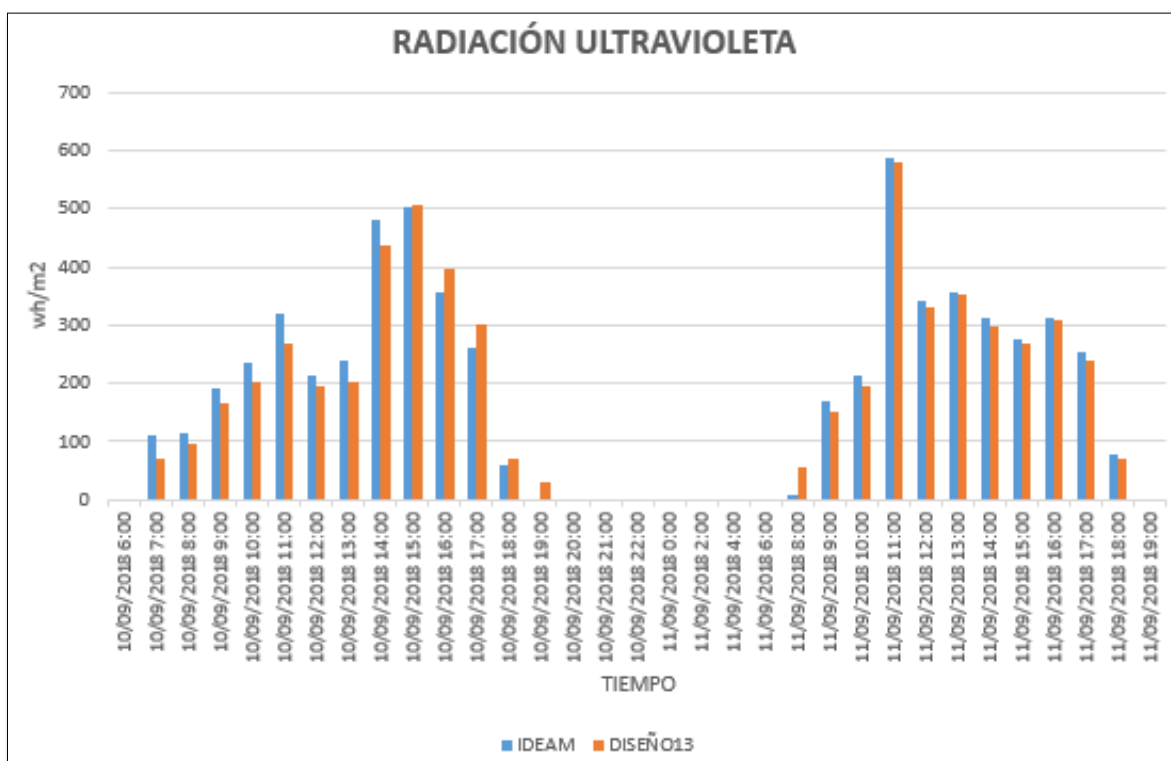
Fuente: Propia

En los días que se presentaba lluvia no fue posible realizar prueba del sistema, ya que por seguridad restringían el acceso a la zona de la terraza donde está ubicado la estación meteorológica, de forma que las pruebas se pudieron realizar por alrededor de un mes de forma no consecutiva. Con la validación del sistema se buscó apreciar que el sistema diseñado responda de forma similar al de la estación meteorológica del IDEAM, cumpliendo con las tendencias en el transcurso del día, por tanto, no se pretende que el sistema entregue exactamente las mismas lecturas de radiación UV, ya que la diferencia de equipos y de integración de los datos instantáneos no lo permite, este proceso se amplía en la siguiente sección, espacio donde se puede observar los datos adquiridos por el sistema diseñado y los de la estación del IDEAM.

7.2 VALIDACIÓN DEL SISTEMA

En las siguientes figuras se puede observar en detalla los datos recolectados por el sistema diseñado en color naranja y los resultados del sistema del IDEAM en color azul, detallando el día, la hora y la fecha de cada dato.

Figura 57. Validación del sistema 10 y 11 de septiembre del 2018



Fuente: Propia

Figura 58. Validación del sistema 13 y 14 de septiembre del 2018

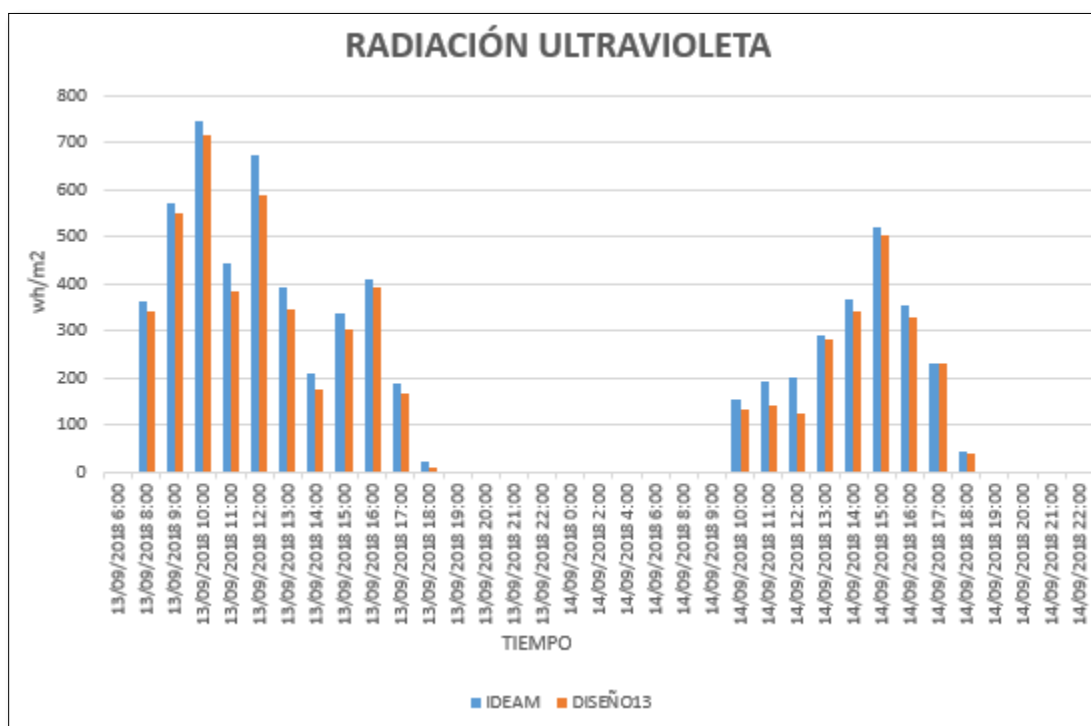
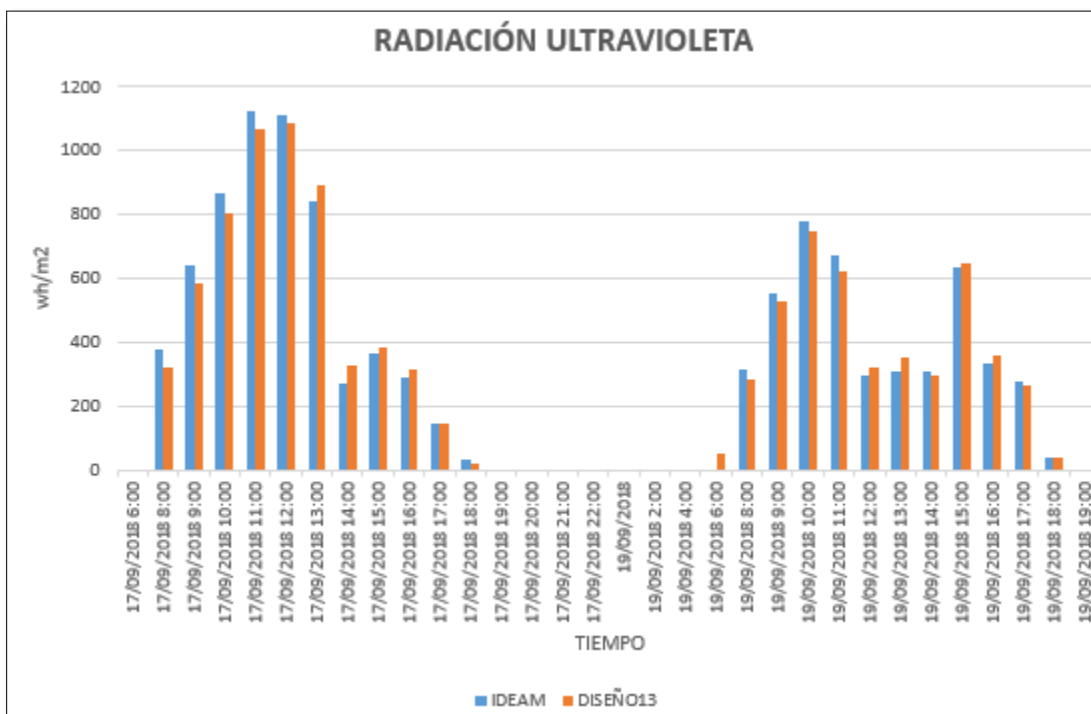


Figura 59. Validación del sistema 17 y 19 de septiembre del 2018



Fuente: Propia

Figura 60. Validación del sistema 20 y 21 de septiembre del 2018

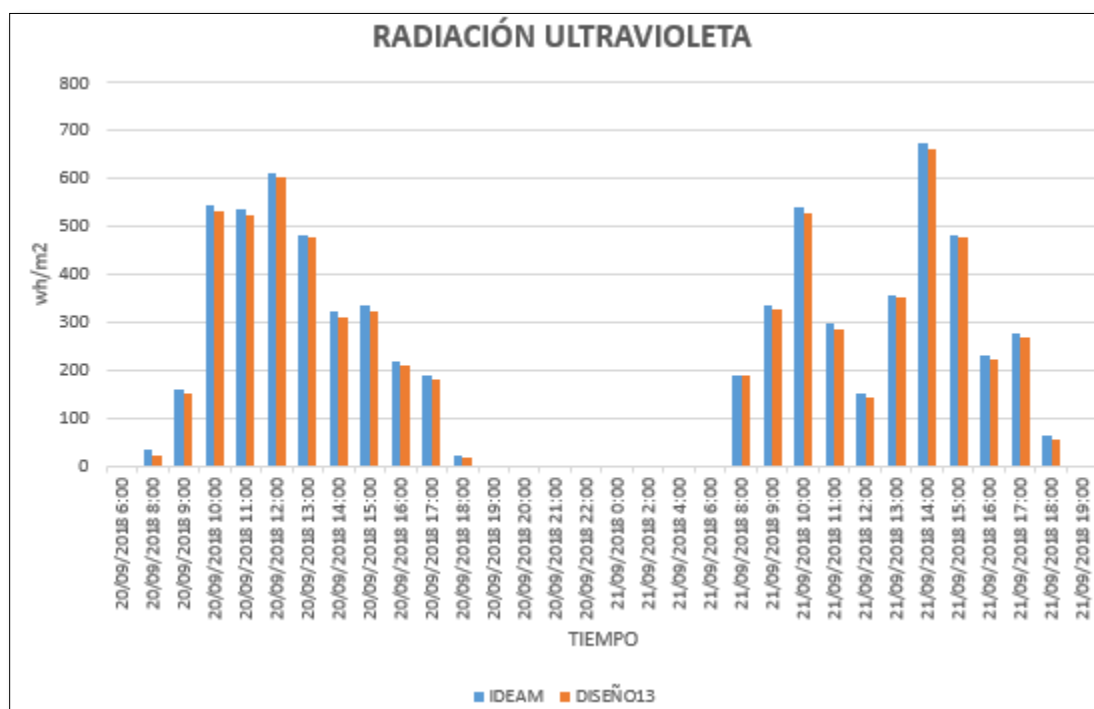
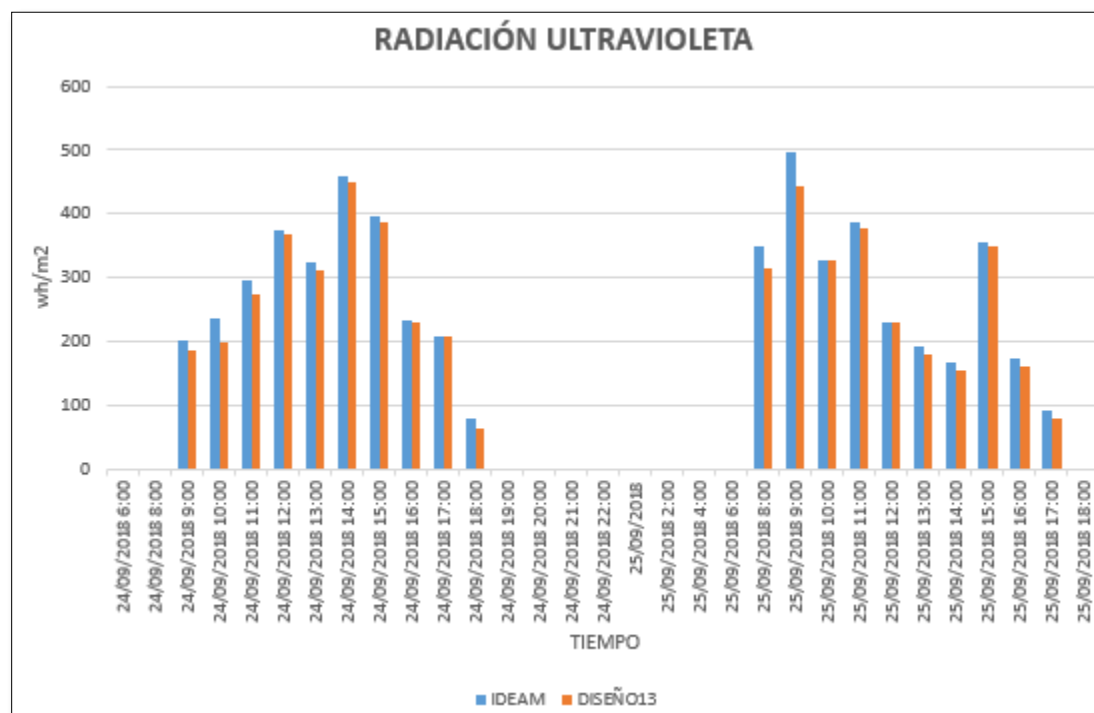


Figura 61. Validación del sistema 24 y 25 de septiembre del 2018



Fuente: Propia

Figura 62. Validación del sistema 27 y 29 de septiembre del 2018

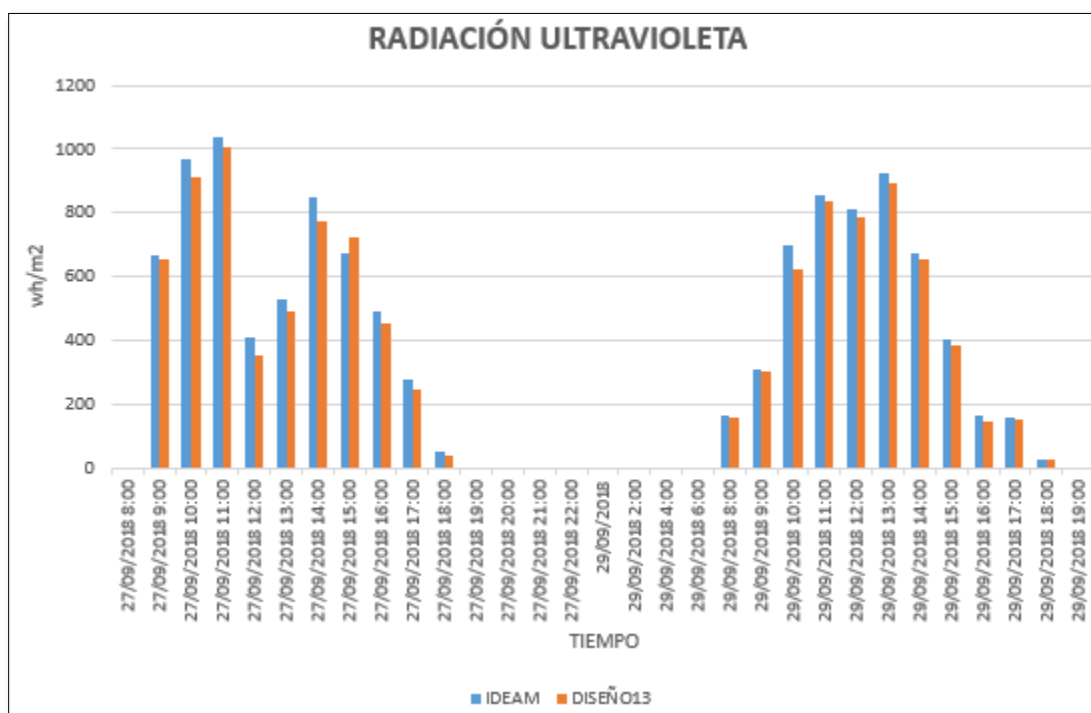
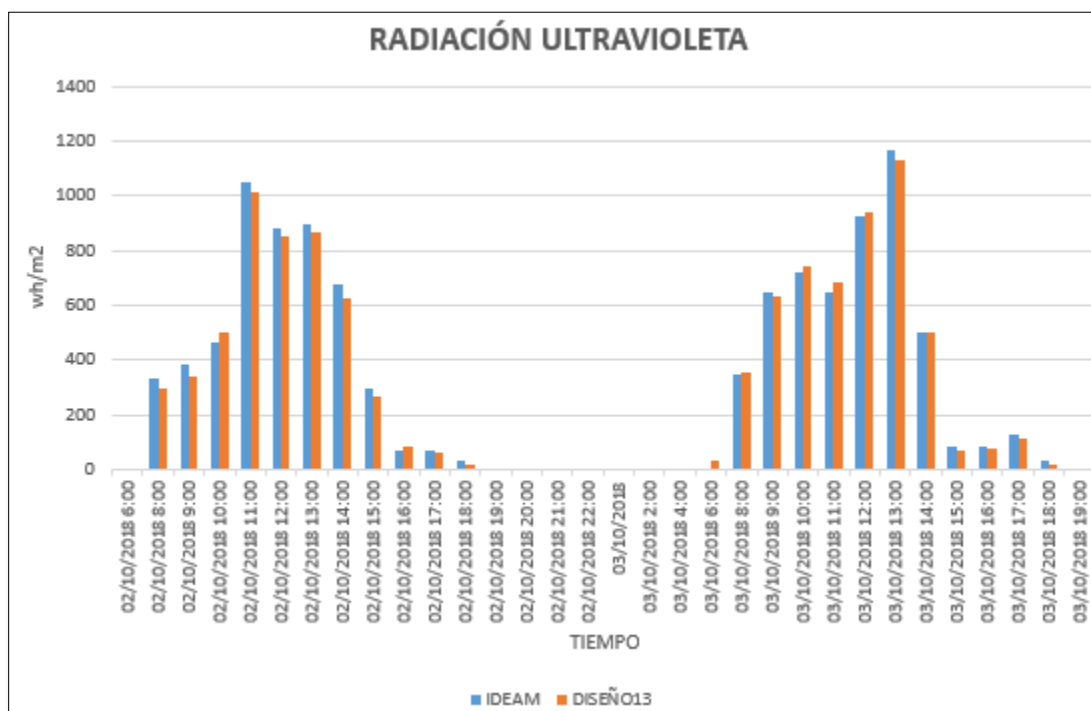


Figura 63. Validación del sistema 2 y 3 de octubre del 2018



Fuente: Propia

Figura 64. Validación del sistema 5 y 6 de octubre del 2018

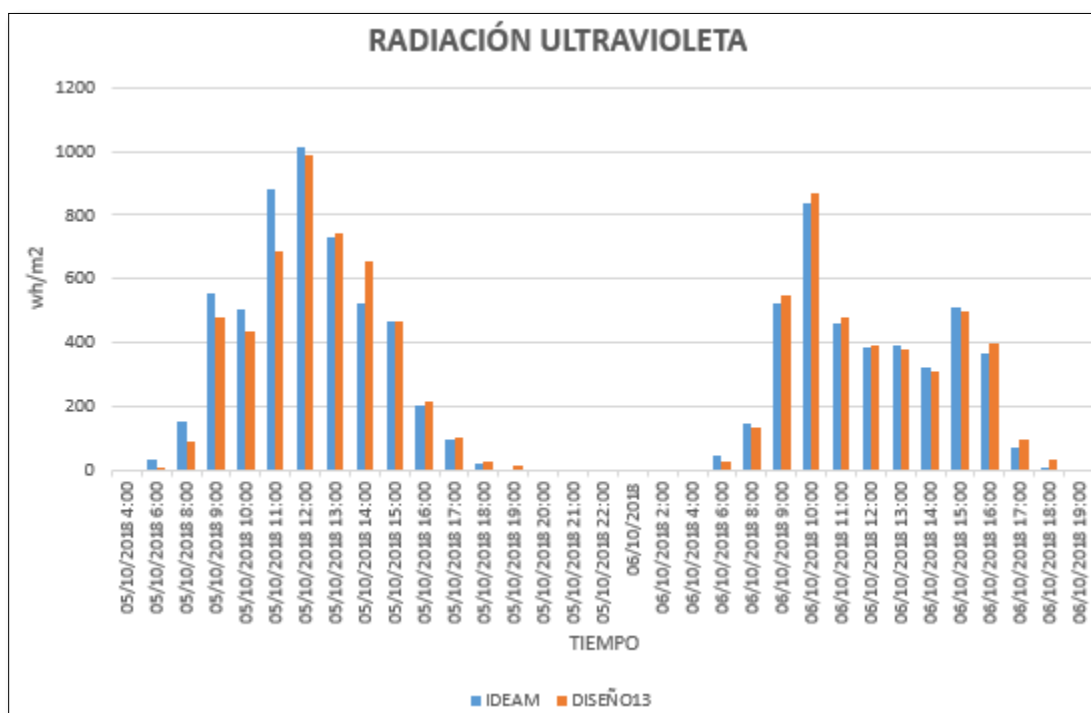
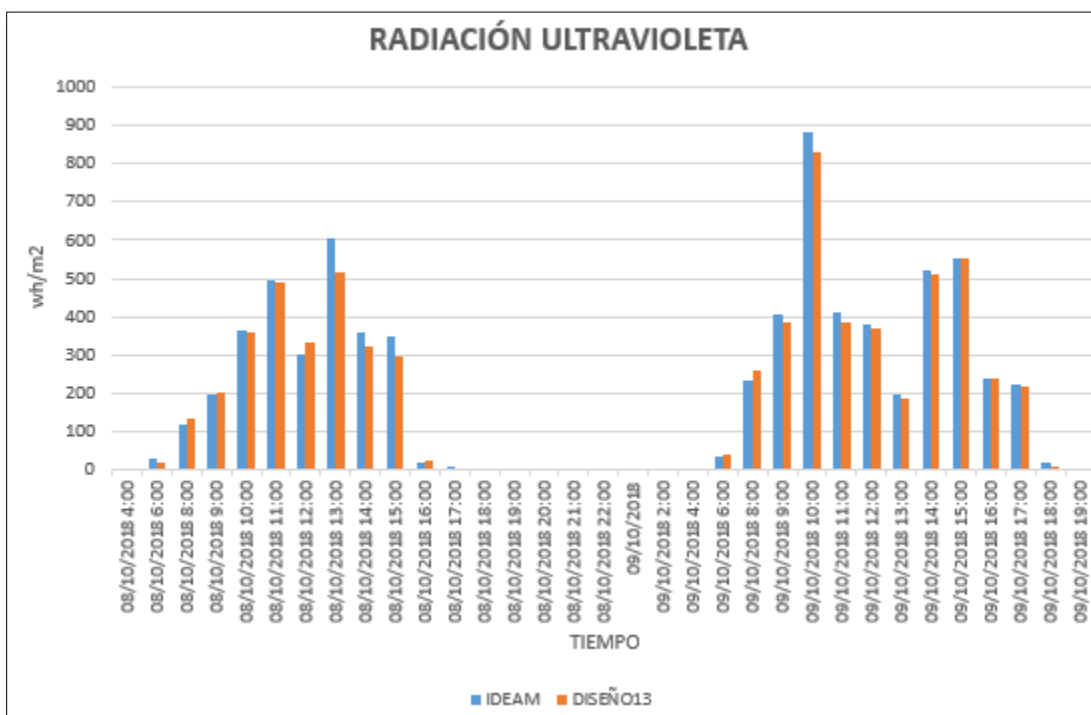
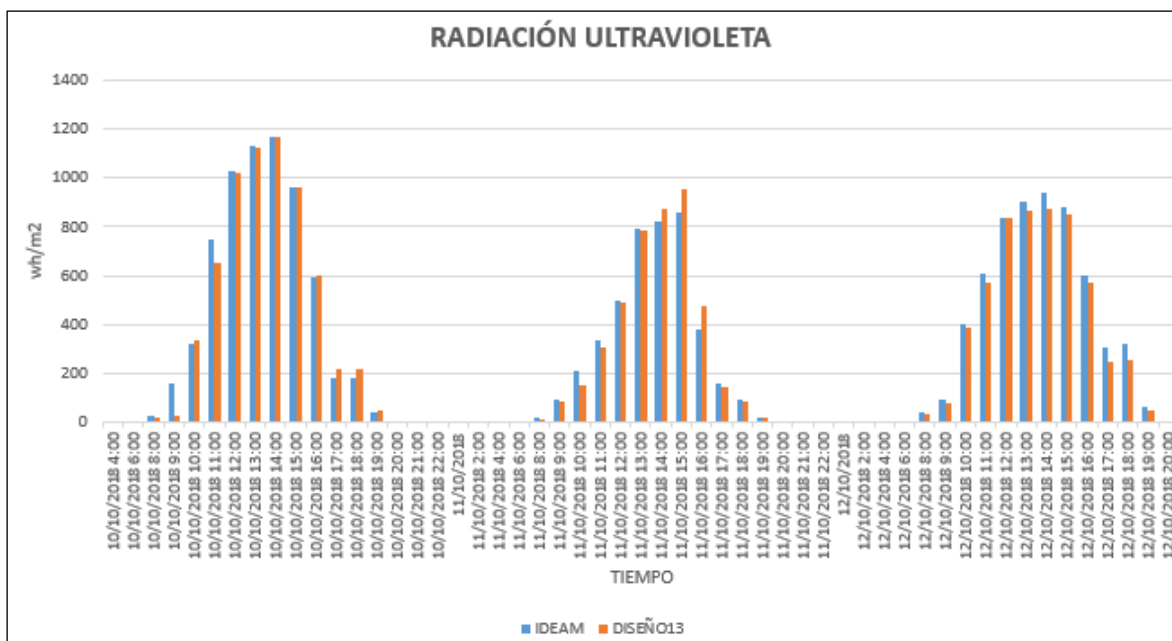


Figura 65. Validación del sistema 8 y 9 de octubre del 2018



Fuente: Propia

Figura 66. Validación del sistema 10, 11 y 12 de octubre del 2018



Fuente: Propia

7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El desarrollo de la validación del sistema permitió comprobar el buen funcionamiento de este a la intemperie, operando de la forma prevista al registrar los valores más altos de radiación alrededor del mediodía, que es en el momento donde se tiene más incidencia de los rayos solares por la posición del sol. En los casos donde los picos más altos de radiación no se presentan cerca del medio día como se detalla en los días 21 y 27 de septiembre, es debido a que en estos días se presentaron días nublados, interfiriendo con la luz solar que llega a la superficie terrestre, de cualquier manera, el sistema presentó una tendencia de comportamiento similar con el sistema de referencia, con un error porcentual de 9.66% en el transcurso de los veintidós días de pruebas, no consecutivos.

El horario del día donde se tiene incidencia de la radiación solar ultravioleta comprende regularmente entre las 6:00 am y las 6:00 pm, a excepción de los días 5, 10, 11 y 12 de octubre del 2018 en los que se registró valores hasta las 7:00 pm. El día en que se presentó los valores más altos de radiación fueron los días 10 de octubre del 2018 en los que se llegó a registrar valores superiores a los 1100 (wh/m²).

Figura 67. Días en que se realizaron mes de septiembre del 2018

Septiembre 2018						
DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
	1	2		3	4	
16	17	18	19	20	21	22
	5		6	7	8	
23	24	25	26	27	28	29
	9	10		11		12

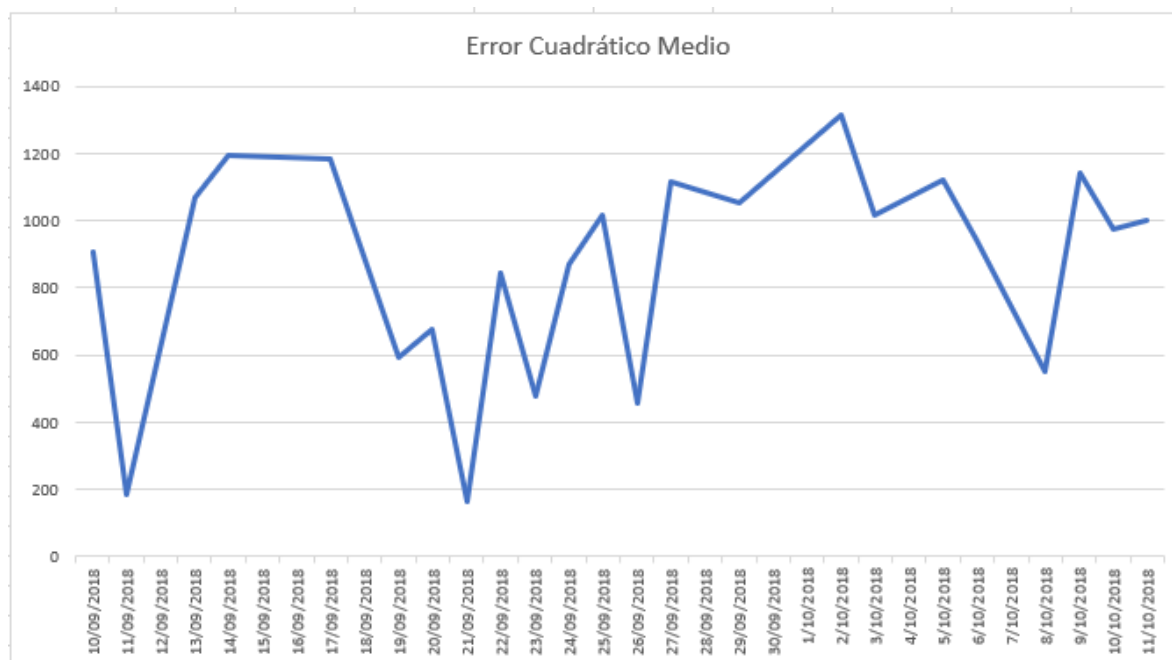
Fuente: Propia

Figura 68. Días de octubre en los que se realizaron pruebas

Octubre 2018						
DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
30	1	2	3	4	5	6
		13	14		15	16
7	8	9	10	11	12	13
	17	18	19	20	21	
14	15	16	17	18	19	20

Fuente: Propia

Figura 69. Error Cuadrático Medio



Fuente: Propia.

En la figura 69, se encuentra reflejado el cálculo diario del error cuadrático medio para el conjunto de datos recolectados en el proceso de validación, en el, es posible evidenciar que el error en general es variable y no presenta un patrón constante a lo largo del tiempo, lo que establece que existen elementos externos que pueden influir en el comportamiento del sistema como lo son las sombras, factores climáticos etc, situación que se ve reflejada en el error porcentual del 9,66%.

8. SOCIALIZACIÓN

Se tuvo la oportunidad de socializar el presente trabajo con el equipo administrativo y técnico del IDEAM seccional Nariño, espacio en el que se aprovechó no solo para exponer el proyecto, sino también para poner a prueba las aplicaciones web y móvil del sistema con el personal, los cuales realizaron observaciones sobre las funcionalidades y diseño de la aplicación web que fueron consideradas para mejorar la presentación de esta.

Figura 70. Socialización con el personal del IDEAM sede Pasto



Fuente: Propia

9. COSTOS DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se detalla el costo de todos los elementos y materiales empleados para el desarrollo del presente proyecto, con las fuentes de financiamiento del mismo.

Figura 71. Rubros proyecto

RUBROS	FUENTES		TOTAL
	ESTUDIANTE	DEPARTAMENTO	
Recursos Hardware			
Sensores		\$809.000	\$809.000
Raspberry Pi		\$150.000	\$150.000
Módulo GSM	\$45.000		\$45.000
Memoria SD	\$20.000		\$20.000
Caja protectora	\$45.000		\$45.000
Conectores internos	\$20.000		\$20.000
Cable Ethernet	\$15.000		\$15.000
Adaptador de CC	\$10.000		\$10.000
Materiales adecuación instalación	\$68.000		\$68.000
Total			\$1'182.000
Recursos Software			
Software Linux	\$0.0	\$0.0	\$0.0
Base de datos	\$0.0	\$0.0	\$0.0
Recursos bibliográficos.			
Bibliografía	\$0.0	\$0.0	\$0.0
Papelería			
Papel, tinta, discos	\$250.000		\$250.000
Total			\$1'432.000

Fuente: Propia

10.CONCLUSIONES

En todo este proceso, y de manera general se determina que a partir del uso del sistema de monitoreo de radiación UV, se puede acceder a datos que sirven de referencia para proyectos en sectores como la agricultura, la salud, la construcción y la educación, entre otros para el municipio de Neiva; sobre todo, porque suple con la necesidad que tiene la ciudadanía de acceder a información de forma clara, fiable y actualizada sobre la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre.

En el desarrollo de la fase de diseño, se consideró cual es la tecnología más apropiada que cumpla con todos los requisitos de desempeño y se ajuste a un bajo precio, en base a la cual se pueda realizar una recolección y procesamiento de información de forma directa y constante, estos requisitos se consiguieron suplir con los sensores TOCONS que demostraron un buen desempeño, al trabajar a la intemperie.

El desarrollo del presente proyecto puede aportar información esencial para campañas de concientización de los riesgos de la excesiva exposición de los rayos ultravioleta, que pueden afectar la salud y las actividades cotidianas del día a día que se realizan al aire libre, complementando con información que promueve la necesidad de adoptar hábitos de protección saludable, que mejoren la calidad de vida, ya que existe un riesgo latente en las horas del mediodía, cuando se registran índices UV mayor a 11, según la escala de la OMS.

Luego de haber validado los datos recolectados con la estación meteorológica del IDEAM se puede afirmar con certeza que el sistema es confiable y puede ser desplegado en diferentes lugares del municipio de Neiva.

11.RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros se recomienda plantear el desarrollo de un sistema que integre más de un equipo de forma que la zona de influencia sea mucho más grande, realizando un análisis detallado de la cantidad de estaciones que se requieren en un perímetro cuadrado, según las condiciones meteorológicas, geográficas y atmosféricas del territorio, como la concentración presente de dióxido de carbono en la atmósfera y los efectos que genera del desgaste de la capa de ozono por el estilo de vida que se mantiene en la comunidad y en la industria del sector.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAFRUIT. (2016). *Adafruit 4-Channel ADC Breakouts*. Obtenido de <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-4-channel-adc-breakouts.pdf>
- URIBE, Andrea (2015). A phase 3 randomized trial of nicotinamide for skin-cancer chemoprevention.
- VELEZ M., Andres E. L. (2015). Evaluación de un modelo estadístico para estimas la radiación solar en el Magdalena, Colombia. . *TecnoLogicas*, 33-44.
- MARTINEZ ANTON, Manuel (2007). *Modelos empíricos para la estimación de la irradiancia solar ultravioleta*. Badajoz: Universidad de Extremadura.
- AUDIENCI, V. J. (2008). El papel protector de la melanina contra el daño UV en la piel humana. *Fotoquímica y fotobiología-NCBI*, 539-549. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2671032/#R40>
- BENAVIDES B., H. O. (2010). *Informacion Tecnica Sobre la Radiacion Ultravioleta, El indice UV y Pronostico*. IDEAM.
- BORLOZ, Yanina G. I. (2014). *Prevencion I R.U.V*. Montevideo: FARQ.
- TORRES, A. R. (2002). Utilización del radiómetro multicanal de ancho de banda moderada NILU-UV6 en la red antártica del proyecto MAR. *Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica*, 2.
- CABELLO, F. J. (2013). *Estimacion de la atenuación de la radiacion solar en condiciones de cielo nublado mediante el uso de cámaras de cielo*. Sevilla.
- CARLOS A., F. K. (2013). *GEULMovil*. Montevideo, Uruguay.
- CEST. (03 de 07 de 2016). *Caracol*. Obtenido de Caracol Radio: http://caracol.com.co/radio/2016/07/24/salud/1469386119_530450.html
- DEDIOS M. Ninell J. (2017). Niveles de radiación ultravioleta, fenotipos e infraestructura de protección solar en instituciones educativas de Piura, Perú. *Colomb. Enferm.*, 40-49.
- DEMOGRAFÍA, D. d. (2015). *Situacion del cancer en colombia 2015*. Bogota.
- DURO MOTA, E. C. (2003). El sol y los filtros solares. *Medifam*, 39-45.
- ELENA DURO MOTA, C. P. (Marzo de 2003). El sol y los filtros solares. *Medifam*, 159-165. Obtenido de

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1131-57682003000300005

FERNÁNDEZ, P. (2016). *PROCESOS TERMOSOLARES EN BAJA, MEDIA Y ALTA TEMPERATURA*. Obtenido de Mario Loureiro: <http://www.marioloureiro.net/ciencia/EnerSolarTermica/SolarPROCESOSTERMO/Solar1.pdf>

FOUNDATION, R. P. (s.f.). *raspberrypi*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/>
Gisiberica. (s.f.). *Gisiberica*. Recuperado el 22 de 05 de 2018, de <http://www.gisiberica.com/piran%F3metros/Piranometros.htm>

BENAVIDES V., Henry O. F. (2017). Atlas de radiacion solar, ultravioleta y ozono de Colombia. *IDEAM*, 43.

IDEAM. (2015). *Columna total de ozono para las principales ciudades del pais en U.D*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Anexo-4.-Promedios-mensuales-de-la-Columna-Total-de-Ozono.pdf>

IDEAM. (2015). *Promedio mensual de brillo solar para todas las estaciones del pais*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Anexo-2.-Promedios-mensuales-de-brillo-solar.pdf>

VALENCIA, Henry (2018). *Boletin 15 de marzo-IDEAM*.

CARMONA, Juan C. D. M. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 49-63.

MONHSEN, Kahani (2010). *Engineering ResearchMethodology*. Recuperado el 10 de 04 de 2015, de <http://www.slideserve.com/donnan/engineering-research-methodology>

LIBERTAD, C. R. (Septiembre de 2009). Efectos de la radiación ultravioleta en plantas. *IDESIA*, 59-76.

LUX, S. (20 de 05 de 2018). *Tocon E2*. Obtenido de Tocon E2: https://sglux.de/en/product/tocon_e2-en/

VANEGAS, M. E. V. (2015). Quantification and characterization of solar radiation at the department of La Guajira-Colombia by calculating atmospheric transmissivity.

MAGRAMA. (2015). *Cambio Climatico: Mitigacion*. España.

- MEINEL, A. B. (1982). Instrumentación para la observación del flujo solar. En *Aplicaciones de la energía solar* (pág. 59). Editorial Reverte.
- MERUANE, R. G. (2005). *Flujos Radiativos*. Chile: Universidad de Chile.
- MINAMBIENTE. (2018). *Desarrollo sostenible*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=687:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-62>
- MINSALUD. (15 de setiembre de 2014). *Prevención y detección temprana, claves para combatir el cáncer de piel*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Prevencion-deteccion-temprana-claves-para-combatir-cancer-piel.aspx>
- OMS. (2013). *Cambio climático y salud humana*. Organización Mundial de la Salud.
- OMS, Organización mundial de la salud. (2016). <https://www.who.int>. Obtenido de https://www.who.int/phe/publications/solaruvflyer2006_es.pdf?ua=1
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE SALUD, O. (2005). *Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero*. Lima.
- OTERO, A. (2001). *Medio ambiente y educación: capacitación ambiental para docentes*. Noveduc Libros.
- SALINAS, P. J. (2009). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*. Mérida Venezuela, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- SALUD, O. M. (2003). *Índice UV Solar Mundial*.
- SGLUX. (22 de mayo de 2018). *Tocon ABC6*. Obtenido de [Tocon ABC6: https://sglux.de/en/product/tocon_abc6-en/](https://sglux.de/en/product/tocon_abc6-en/)
- SGLUX. (s.f.). *SGLUX THE UV EXPERTS*. Obtenido de http://sglux.de/es/producto/tocon_abc1/
- SMARTSUN. (2018). <https://www.smartsunmex.com/>. Obtenido de <https://www.smartsunmex.com/>
- SOCIETY, A. C. (2017). *American Cancer Society*. Obtenido de <https://www.cancer.org/es/>
- SUÁREZ, D. (2013). *Evaluación de la Radiación Solar En Bogotá a partir imágenes satélite GOES*. Bogotá.

- TINCHO. (21 de 03 de 2008). *Tincho*. Obtenido de <http://tinchoantartida.blogspot.com.co/2008/03/medicin-de-la-radiacin-uv.html>
- UBLOX. (2011). *U-BLOX*. Obtenido de https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf?utm_source=en%2Fimages%2Fdownloads%2FProduct_Docs%2FNEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf
- UNIVERSIDAD DE LAS HABANA. (2 de noviembre de 2018). <https://aulahipermedia.wordpress.com>. Obtenido de <https://aulahipermedia.wordpress.com/tag/pulsera/>
- UPME, I. (2005). Atlas de radiación solar de Colombia. En U. d. energetica. Imprenta Nacional de Colombia.
- UEBAND. (2018). <http://www.uveband.co.uk>. Obtenido de <http://www.uveband.co.uk/sun-safety.html>
- VARGAS, D. A. (2013). *EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN*. Bogota.
- VISHAY. (21 de 05 de 2018). *VEML6070*. Obtenido de <https://www.vishay.com/docs/84310/designingveml6070.pdf>
- WEIHS, P. a. (2008). Measurements of UV irradiance within the area of one satellite pixel. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5615-5626. Obtenido de www.atmos-chem-phys.net/8/5615/2008/