



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**APLICACIÓN DE SIMULACIONES MONTE CARLO PARA EL
ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE RADIACIÓN UVA-UVB EN EL
CANTÓN GUANO**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICO

AUTOR: WILLIAN FERNANDO TRUJILLO CASTILLO

DIRECTOR: Mat. LUIS MARCELO CORTEZ BONILLA Msc.

Riobamba – Ecuador

2022

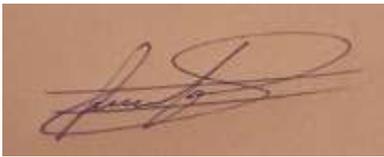
©2022, Willian Fernando Trujillo Castillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, WILLIAN FERNANDO TRUJILLO CASTILLO, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de marzo de 2022

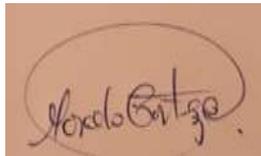
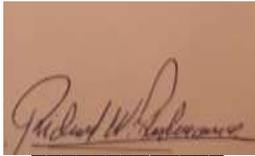
A rectangular box containing a handwritten signature in brown ink on a light brown background. The signature is stylized and appears to be 'Willian Fernando Trujillo Castillo'.

Willian Fernando Trujillo Castillo

060507813-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **APLICACIÓN DE SIMULACIONES MONTE CARLO PARA EL ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE RADIACIÓN UVA-UVB EN EL CANTÓN GUANO**, realizado por el señor: **WILLIAN FERNANDO TRUJILLO CASTILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Biof. María Fernanda Heredia Msc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-03-10
Mat. Luis Marcelo Cortez Bonilla Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-03-10
Dr. Richard Willians Pachacama Choca Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-03-10

DEDICATORIA

Dedico principalmente este trabajo a las futuras generaciones para que les sea de gran ayuda en su investigación.

Willian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mis pasos y darme el valor para afrontar cada una de las adversidades presentes en el transcurso de mi vida.

A mi madre Mariana Trujillo por ser la persona más valiente y decidida del mundo, imbatible ante adversidad, por confiar siempre en mí, por amor infinito y quien me ha enseñado que con el trabajo, esfuerzo y perseverancia se puede alcanzar todas las metas propuestas.

A mi hermana Karen por ser uno de los motores para luchar día a día, por estar a mi lado, por regalarme gratos momentos y el represento que me ha demostrado tanto como persona al igual como hermano.

A todos y cada uno de los docentes que conforman la Escuela de Física y Matemática quienes aparte de ser maestros fueron amigos y que durante toda la formación profesional impartieron sus conocimientos, principalmente al Mat. Luis Marcelo Cortez Bonilla mi director de trabajo de titulación por su apoyo y ayuda incondicional dedicado durante el desarrollo del presente trabajo.

A mis familiares por todos sus consejos brindados, momentos compartidos y su apoyo en los momentos más críticos.

A mis amigos y compañeros; por su apoyo a lo largo de mi vida universitaria.

Willian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	3
1.2. Identificación del problema.....	5
1.2.1. <i>Formulación del problema</i>.....	6
1.3. Justificación de problema.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. <i>Objetivo general</i>.....	7
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>.....	7
1.5. Fundamentación teórica.....	8
1.5.1. <i>Elementos de radiometría</i>.....	8
1.5.2. <i>Radiación ultravioleta (UV)</i>.....	16
1.5.2.1. <i>UVA</i>.....	17
1.5.2.2. <i>UVB</i>.....	17
1.5.2.3. <i>UVC</i>.....	17
1.5.2.4. <i>Factores que influyen en los niveles de radiación UV</i>.....	17
1.5.2.5. <i>Irradiancia Ultravioleta Eritemática</i>.....	18
1.5.2.6. <i>El Índice UV (IUV)</i>.....	20
1.5.2.7. <i>Efectos de la radiación UV en la salud</i>.....	21
1.5.3. <i>Factores espectrales de absorción, reflexión y transmisión</i>.....	22
1.5.3.1. <i>Introducción a los factores de absorción, reflexión y transmisión</i>.....	22
1.5.3.2. <i>Los factores totales direccionales</i>.....	22
1.5.3.3. <i>Los factores totales hemisféricos</i>.....	23
1.5.4. <i>La radiación solar y la atmósfera</i>.....	23

1.5.4.1.	<i>El sol como fuente de energía y de radiación</i>	23
1.5.4.2.	<i>Posición del Sol respecto a una superficie inclinada</i>	24
1.5.4.3.	<i>La Tierra en el espacio</i>	25
1.5.4.4.	<i>Las referencias locales</i>	27
1.5.5.	<i>Radiación solar directa y difusa</i>	27
1.5.5.1.	<i>Introducción a la radiación solar directa</i>	27
1.5.5.2.	<i>Modelos para calcular la radiación directa y difusa</i>	27
1.5.5.3.	<i>Atenuación de la radiación solar por la atmósfera</i>	28
1.5.6.	<i>Radiación solar en la República del Ecuador</i>	29
1.5.6.1.	<i>Introducción</i>	29
1.5.6.2.	<i>Radiación Solar en Regiones del Ecuador</i>	30
1.5.6.3.	<i>Análisis de la radiación solar debido a las características topográficas</i>	30
1.5.6.4.	<i>Método de obtención de los valores de radiación en el Ecuador</i>	31
1.5.7.	<i>Métodos Teóricos para la obtención de radiación UV</i>	32
1.5.7.1.	<i>Método de Hottel para días claros</i>	32
1.5.7.2.	<i>Modelo teórico de PVGIS para días claro</i>	33
1.5.8.	<i>Características geográficas y topológicas del cantón Guano</i>	35
1.5.9.	<i>Bases para la simulación</i>	36
1.5.9.1.	<i>Generalidades</i>	36
1.5.9.2.	<i>Modelo transferencia radiativa</i>	36
1.5.9.3.	<i>La ETR para el cálculo de la radiancia</i>	37
1.5.10.	<i>El código LOWTRAN</i>	37
1.5.11.	<i>Método Monte Carlo</i>	37
1.5.10.1.	<i>Introducción</i>	37
1.5.10.2.	<i>Historia del método de Monte Carlo</i>	38
1.5.10.3.	<i>Definiciones y Características</i>	38
1.5.12.	<i>Monte Carlo y la teoría de elementos de probabilidad</i>	39
1.5.12.1.	<i>Generación de números pseudoaleatorios</i>	41
1.5.12.2.	<i>Características de los números pseudoaleatorios</i>	42
1.5.12.3.	<i>Las leyes de probabilidad que gobiernan las trayectorias de los fotones</i>	42
1.5.13.	<i>Programa MATLAB</i>	43
1.5.13.1.	<i>Introducción</i>	43
1.5.13.2.	<i>Definición de Matlab</i>	43
1.5.13.3.	<i>Características de Matlab</i>	43
1.5.13.4.	<i>El entorno de MATLAB</i>	44
1.5.13.5.	<i>MATLAB como plataforma para simulación en estadística</i>	45

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	46
2.1.	Tipo de la Investigación.....	46
2.2.	Diseño de la Investigación	46
2.2.1.	<i>Localización del estudio.....</i>	49
2.2.2.	<i>Población de estudio</i>	49
2.2.3.	<i>Tamaño de la muestra.....</i>	49
2.2.4.	<i>Método de muestreo</i>	49
2.2.5.	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	50
2.2.5.1.	<i>Análisis Estadístico Inferencial.....</i>	50
2.2.5.2.	<i>Identificaciones variables</i>	50
2.2.5.3.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	51
2.2.6.	<i>Características de las zonas de medición de referencia.....</i>	51
2.2.7.	<i>Instrumentación para la recolección de datos.....</i>	51

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	53
3.1.	Interpretación de los valores de radiación UVA.....	53
3.1.1.	<i>Análisis de la radiación UVA.....</i>	56
3.1.2.	<i>Interpretación de los valores de radiación UVB.....</i>	56
3.1.3.	<i>Análisis de la radiación UVA.....</i>	60
3.1.4.	<i>Análisis de la radiación UVA-UVB por estimación de proporción dentro de un área</i>	60
3.1.5.	<i>Correlación entre alturas promedio de las parroquias del cantón guano (msnm) y estimación de proporción de radiación UVA- UVB</i>	62

CONCLUSIONES.....	63
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	64
-----------------------------	-----------

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación de foto tipos y dosis MED según la norma DIN 5050	20
Tabla 2-1:	Factores de corrección para algunos tipos de climas.....	32
Tabla 3-1:	Factor de índice de turbidez de Linke aplicado al tipo de atmósfera.....	34
Tabla 4-1:	Características geográficas generales del cantón Guano con datos de ubicación, límites, altitud, clima y temperatura.....	35
Tabla 1-2:	Zona de referencia San Isidro.....	51
Tabla 1-3:	Valores promedios de UVA desde el 1 de enero al 28 de febrero del 2021 en W/m2.....	53
Tabla 2-3:	Valores promedios de UVB desde el 1 de enero 28 de febrero del 2021 en W/m2.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Onda electromagnética plana polarizada linealmente.	9
Figura 2-1.	Rango de longitud de onda de las oem.	10
Figura 3-1.	Superficie referente al ángulo sólido.	11
Figura 4-1.	Representación del ángulo solido respecto a la perpendicular.	12
Figura 5-1.	Eje de simetría del cono giratorio y la generatriz es α	12
Figura 6-1.	Representación del ángulo sólido mediante coordenadas esféricas.	13
Figura 7-1.	Radiación ultravioleta que penetra la atmósfera en dependencia de la concentración del ozono.	17
Figura 8-1.	UVER y curva del espectro de acción del eritema humano.	19
Figura 9-1.	Categorías de exposición a la radiación UV.	20
Figura 10-1.	Índice UV mundial en cielo nublado del 07 de enero del 2010.	21
Figura 11-1.	Diferentes tipos de energía solar termoeléctrica.	24
Figura 12-1.	Inclinación de la tierra respecto al sol.	25
Figura 13-1.	Característica de una esfera celeste.	25
Figura 14-1.	Representación de tipos de dispersión Rayleigh y mie respecto a la dirección de la luz.	29
Figura 15-1.	Mapa solar del ecuador.	30
Figura 16-1.	Muestreo aleatorio de una distribución $p(x)$, del método de la transformación inversa.	41
Figura 17-1.	Ventana de apertura de MATLAB.	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-3.	Frecuencias de radiación UVA promedios.....	54
Gráfica 2-3.	Comportamiento de la radiación UVA con datos aleatorios.	55
Gráfica 3-3.	Comportamiento de la radiación UVA mediante sus distribuciones.	56
Gráfica 4-3.	Valores promedios registrados en la medición de UVB desde el 1de enero al 28 de febrero del 2021.	58
Gráfica 5-3.	Comportamiento de la radiación UVB con datos aleatorios.....	59
Gráfica 6-3.	Comportamiento de la radiación UVB mediante sus distribuciones.	60
Gráfica 7-3.	Estimación de proporción de radiación UVA- UVB dentro de un área.....	61
Gráfica 8-3.	Correlación entre alturas promedio y estimación de proporción de radiación UVA- UVB.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** TABLA DE FROLICH AND WEHRLIA PARA IRRADIACIÓN ESPECTRAL.
- ANEXO B.** CÓDIGO FUENTE DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA TIPO A Y B EN MATLAB
- ANEXO C.** REGISTRO DE UVB PARA EL MES DE ENERO DEL 2021 ENTREGADOS POR PARTE DEL INAMHI
- ANEXO D.** DATOS METEREOLÓGICO Y HIDROLÓGICOS RECOGIDOS POR EL INAMHI
- ANEXO E.** CUADROS DE RESUMEN DE CORRELACIÓN ALTITUD VS ESTIMACIÓN DE PROPORCIÓN DE RADIACIÓN UVA- UVB
- ANEXO F.** CARACTERISTICAS GEOGRÁFICAS DE LAS PARROQUIAS PERTENECIENTES AL CANTÓN GUANO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CIE	Comisión Internationale de l'Eclairage
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
CRS	Climatological Solar Radiation Model
ETR	Ecuación de Transferencia Relativa
EXA	Agencia Civil Espacial del Ecuador
GAD	Gobiernos Autónomos Descentralizados
ICNIRP	Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
IUV	Índice de Radiación Ultravioleta
LABVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering.
MATLAB	MATrix LABoratory
MED	Minimum Erythermal Dosis
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NREL	Laboratorio de Energías Renovables
OMS	Organización Mundial de la Salud
oem	ondas electromagnéticas
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
SIG	Sistema de Información Geográfica
TSV	Tiempo solar verdadero
TSM	Tiempo solar medio
UTM	Universal Transverse Mercator
UV	Radiación Ultravioleta
UV-A	Radiación Ultravioleta tipo A
UV-B	Radiación Ultravioleta tipo B
UV-C	Radiación Ultravioleta tipo C
UVER	Irradiancia Ultravioleta Eritematicamente Activa
WGS 84	World Geodetic System 1984
WRC	Centro Mundial de la radiación

RESUMEN

En el presente Trabajo de Titulación se realizó la cuantificación de la radiación ultravioleta (UV) como fracción de la luz solar recibida a nivel de biosfera. Los objetivos de estudio fueron: examinar los eventos probabilísticos generados por mediciones de radiación solar ultravioleta UV-A y UV-B, obtenidos de enero a febrero del 2021, en la ciudad de Guano. Además, se analizó el comportamiento diario de radiación en sus máximos y mínimos, un conjunto de datos para los cuales las probabilidades de los eventos representados por una distribución normal se pueden aplicar a los datos obtenidos primero matemáticamente como punto de partida para los datos aleatorios de Monte Carlo. También se indagó en encontrar la relación entre las variables topológicas y la energía UV-A promedio para derivar la energía UV-B que puede interactuar dentro de la región de estimación. Los promedios máximos de enero y febrero corresponden a 30,08 W/m²·día para UV-A y 3 W/m²·día para UV-B. Por medida analítica de probabilidad, la información fue la siguiente: Para valores de UVA superiores a 22 W/m², el 22,8% de los datos aleatorios se acercan al 50% de los datos teóricos, por lo que aportan como punto de partida para la UV-A. base de datos y radiación UV-B, también se incluyen métodos de progresión lineal para correlaciones de variables. Este proyecto se puede utilizar como fuente de recopilación de información para diferentes fuentes de radiación en el país, y también se recomienda tomar las medidas de protección radiológica apropiadas en verano.

Palabras clave: <ANÁLISIS UV>, <DATOS ALEATORIOS>, <MÉTODO MONTE CARLO>, <RADIACIÓN UV>, <GUANO (CANTÓN)>, <MATLAB (SOFTWARE)>.

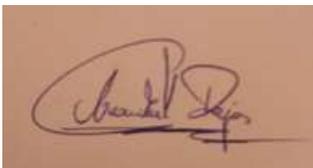


1873-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

In this thesis, the quantification of ultraviolet (UV) radiation as a fraction of the sunlight received at the biosphere level was carried out. The objectives of the study were: to examine the probabilistic events generated by UV-A and UV-B solar ultraviolet radiation measurements, obtained from January to February 2021, in the city of Guano. In addition, the daily radiation behaviour was analysed in its maximums and minimums, a data set for which the probabilities of the events represented by a normal distribution can be applied to the data first obtained mathematically as a starting point for Monte Carlo random data. The relationship between the topological variables and the average UV-A energy was also investigated to derive the UV-B energy that can interact within the estimation region. The maximum averages for January and February correspond to 30.08 W/m²-day for UV-A and 3 W/m²-day for UV-B. By analytical probability measure, the information was as follows: For UVA values above 22 W/m², 22.8% of the random data are close to 50% of the theoretical data, thus providing as a starting point for UV-A. database and UV-B radiation, linear progression methods for correlations of variables are also included. This project can be used as a source of information collection for different radiation sources in the country, and it is also recommended to take appropriate radiation protection measures in summer.

Keywords: <UV ANALYSIS>, <RANDOM DATA>, <MONTE CARLO METHOD>, <UV RADIATION>, <GUANO (CANTON)>, <MATLAB (SOFTWARE)>.

A rectangular box containing a handwritten signature in dark ink on a light brown background. The signature is cursive and appears to read 'Abdul Aziz'.

INTRODUCCIÓN

De los tantos factores que hacen posible la vida en nuestro planeta la luz solar se encuentra entre los principales pues aparte de calentar la mañanas heladas; sirve de generador esencial para la síntesis de vitamina D esencial para nuestros huesos, se puede seguir nombrando muchos de los beneficios que ofrece pues partir de ahora nos concentraremos en su forma de transmitir su energía desde que se genera en su centro hasta llegar a nuestras ventanas por la mañana he aquí donde nos preguntaremos como hace el sol para abrigarnos pues a lo largo de la historia la humanidad se ha encargado de rebuscar sus secretos y todo gracias a la curiosidad aportando con pequeños granos de investigación, ideando métodos, procesos y experimentando.

Pero como todo hecho bueno siempre hay frenos y obstáculos; se ha sabido que a lo largo de la historia los experimentos basados en pruebas y errores han presentado una dificultad para ser realizados su alto costo y por abordar dichos problemas mediante técnicas analíticas, la medición de la radiación UV a nivel mundial forma parte de estos casos; sin embargo como la radiación solar tiene un gran impacto tanto en los ecosistemas de igual manera afecta a la salud en las diferentes zonas alrededor del globo es muy importante mencionar la notable aparición de los simuladores para los respectivos estudios.

Partiremos de las bases teóricas necesarias vistas en el capítulo I como sustento con el cual se corroborará nuestro análisis pues en Ecuador la simulación de análisis de datos referente a la medición de la radiación UV está limitada; primeramente por poco interés del tema por parte de los estudiantes seguido de la escasa información y al hecho que los datos obtenidos desde hace varios años; de igual manera los datos actuales no se les pueden considerar muy confiables para una correcta explotación de la radiación solar en el Ecuador, según Revelo Vaca, y otros, los datos que suele manejar esta institución se rigen a los estándares generales mundiales, mientras que los que usan algunos Municipios son los aplicados a ciudades de altitud que conviven con rayos UV altos, por lo cual los datos que arrojan no coinciden .

Al comparar grandes ciudades como Quito que cuentan con más de 2 estaciones meteorológicas a diferencia del Cantón Guano cuya base de datos por parte del INAMHI es ofrecida por la estación Riobamba-La Politécnica, vale mencionar que en el cantón Guano parroquia San Isidro se encuentra la comunidad de San Isidro de Patulú con moradores viviendo a más de 2500 m de altura convirtiéndose en el asentamiento poblacional a mayor altura del Ecuador un dato interesante el cual servirá como análisis en el capítulo II, esto implica que, al tener alturas superiores a los 1900 m los índice radiación UVA -UVB serán mayores.

Mencionar que la radiación UVA-UVB necesaria y a la vez perjudiciales para la salud debido la sobreexposición de sus habitantes, por otra sobra decir que el cantón Guano no cuenta con los equipos y una base de datos propia a la cual se pueda recurrir, para esta dificultad se ha propuesto realizar una simulación mediante el método Montecarlo en los cuales podremos incluir diversos

factores geográficos propios del cantón, logrando obtener información estimada de la radiación UVA-UVB por sectores aclarados en el capítulo III, estos datos servirán de base para que el municipio de Guano informe a los pobladores de sus diferentes parroquias y ellos tomen las debidas precauciones al momento de exponerse a este tipo de radiación solar.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la Investigación

Un aporte realizado para el área energética del Ecuador por Molina. (2017, p.1) en su trabajo de investigación el cual se encuentra dentro del marco del Proyecto 574 “*Desarrollo de modelos espacio temporales de variables solares y eólicas, para estimar el potencial energético en la Región Sur del Ecuador*”, auspiciado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT) y la Universidad Nacional de Loja (UNL), basados en modelos teóricos para obtener la radiación solar global, indagando determinar el potencial energético solar de la Región Sur del Ecuador mediante la implementación de softwares. Los modelos empleados como objeto de estudio fueron:

- Modelo teórico de Hottel para días claros.
- Modelo teórico de PVGIS para días claros.

Debido al vasto proceso de cálculos, optaron por una herramienta matemática (MATHCAD) para programar los anteriores métodos teóricos; encontrando una facilidad para realizar los cálculos una vez finalizada la programación los resultados de la radiación solar global se establecieron por hora y día en un sector específico.

Para tener una proyección mensual se necesitaba utilizar los modelos antes mencionados para adquirir la suma mensual de la radiación solar global para un lugar determinado, lo cual demandaría un valioso tiempo trabajando procedente de la programación en MATHCAD. Por esa razón decidieron optar por el uso de un programa que simplifique el trabajo, de forma que se el almacenamiento de los resultados sea instantáneo con la facilidad de ingresar los datos correspondientes por cada modelo teórico y que sea muy viable su uso. El software elegido fue LABVIEW utilizado para automatización industrial, logrando cumplir los objetivos planteados para la creación del programa, a su vez, otra de sus utilidades valiosas es de servir como una fuente de información para el profesional o estudiante cuyo campo de trabajo y estudio sea la Energía solar (Molina et al., 2017,p.3).

Un aporte de información basado a la cuantificación de la luz ultravioleta como parte de la luz solar transmitida a nivel de biósfera es notable. Pues la investigación realizada por (Escobedo Bretado et al.,2017, p.) por parte del Centro de Investigación en Materiales Avanzados de Durango México en su trabajo titulado “*Cuantificación De La Incidencia De Radiación Ultravioleta (UV-A, UV-B) En Durango, México*” en el cual su objetivo de estudio fue analizar una serie de mediciones de radiación solar enfocándose sobre todo en UVA-UVB en el periodo diciembre 2015 a febrero 2017, en la ciudad de Durango, buscando examinar la conducta diaria de radiación

meses de invierno y verano. Logrando calcular acumulados de energía diaria y promedio mensual. Obteniendo los siguientes resultados: radiación de energía UV-A con promedio mensual en invierno (diciembre/2015) fue de 905 kJ/m²·día y en verano (junio/2016) con una presencia de 1,732 kJ/m²·día. También se registró valores máximos de energía en el mes de julio con valores respectivos de (2,077 kJ/m²·día) para UV-A y 60 kJ/m²·día para UV-B; los valores mínimos registrados fueron en noviembre, (255 kJ/m²·día para UV-A y 6.5 kJ/m²·día para UV-B). Las cantidades mencionadas aportan con una base de datos de radiación UV-A y UV-B, las cuales sirven de aplicación para varios proyectos energéticos y ambientales de la ciudad, de igual manera del análisis de sus efectos, a nivel de receptores (Escobedo-Bretado et al., 2017, pp.23-30).

Un estudio por parte de otro país latinoamericano por parte de Peñafiel (2008, p.58-64) en su trabajo de investigación titulado “*MODELO MONTE CARLO PARA IRRADIANCIA RELATIVA UV-B*” al saber que Bolivia posee zonas de gran elevación referente al nivel del mar; logrado configurar la irradiancia solar ultravioleta usando el método Monte Carlo como simulador de la dispersión de fotones en una atmosfera esférica y homogénea.

Teóricamente, se toma en cuenta que la irradiancia relativa es adimensional y normalizada a la unidad y de igual manera está relacionada principalmente a la dispersión de Rayleigh y a la geometría atmosférica entretanto que la magnitud irradiativa requeriría de un análisis más profundo, abordando otros fenómenos, como la absorción de fotones, también se plantea el uso teórico de los algoritmos de programación, logrando simular “experimentos” con variación de los parámetros principales; como una atmosfera exponencial, orientada, sobre todo, al análisis comparativo revelando gráficas detalladas como los mínimos y máximos de eventos favorables en cada agrupación de datos en la atmósfera con diferente altitud relativa, logrando poder modelar algoritmos capaces de calcular irradiancias relativas en zonas de poca y gran elevación (Peñafiel, 2008, pp.58-64)

1.2. Identificación del problema

A lo largo de la historia los experimentos basados en pruebas y errores han presentado una dificultad para ser realizados. El alto costo y al momento de abordar dichos problemas mediante técnicas analíticas, la medición de la radiación UV a nivel mundial forma parte de estas cuestiones; Sin embargo, dado que la radiación solar tiene un impacto significativo en los ecosistemas, también afecta la salud en diferentes partes del mundo, cabe mencionar que la apariencia efectiva del simulador es muy importante para una investigación adecuada al utilizar una gran cantidad de datos.

En Ecuador la simulación de análisis de datos referente a la medición de la radiación UV está limitada; primeramente por poco interés del tema por parte de las autoridades municipales seguido de la escasa información y al hecho que los datos obtenidos desde hace varios años no pueden ser corroborados con ninguno de los sistemas de cálculo con los cuales se dispone; de igual manera los datos actuales no se les pueden considerar muy confiables para una correcta explotación de la radiación solar en el Ecuador, esto se debe a que una de las fuentes de información es proporcionada por parte del “ATLAS SOLAR DEL ECUADOR” que recopila la información proporcionada por las cuatro instituciones a su servicio una de ellas es el INAMHI; según (Revelo Vaca et al., 2019, p.3), los datos que suele manejar esta institución se rigen a los estándares generales mundiales, mientras que los que usan algunos Municipios son los aplicados a ciudades de altitud que conviven con rayos UV altos, entonces los datos que arrojan no coinciden .

Al comparar grandes ciudades como Quito que cuentan con una estación dirigida por el INAMHI y dos estaciones adicionales manejadas por la Secretaría de Ambiente del Municipio; a diferencia del Cantón Guano cuya base de datos por parte del INAMHI es ofrecida por la estación Riobamba-La Politécnica, sabiendo que los dos cantones presentan una geografía y presupuesto económico diferente al comparar una con otra, vale mencionar que en el cantón Guano parroquia San Isidro se encuentra la comunidad de San Isidro de Patulú con moradores viviendo a más de 2500 m de altura convirtiéndose en el asentamiento poblacional a mayor altura del Ecuador, de acuerdo con Rivas (2002, p.59-62), al tener alturas superiores a los 1900 m los índice radiación UVA -UVB serán mayores en consecuencia sin una información completa, estas personas no son conscientes de los efectos en la salud de vivir a gran altura..

Mencionar que la radiación UVA-UVB necesaria y a la vez perjudicial para la salud debido la sobreexposición de sus habitantes, teniendo en consideración que el cantón Guano no cuenta con los equipos y una base de datos propia a la cual se pueda recurrir, para esta dificultad se ha propuesto realizar una simulación mediante el método Monte Carlo en los cuales podremos incluir diversos factores geográficos propios del cantón, logrando obtener información estimada de la radiación UVA-UVB por sectores, estos datos servirán de base para que el municipio de Guano

informe a los pobladores de sus diferentes parroquias y ellos tomen las debidas precauciones al momento de exponerse a este tipo de radiación solar.

1.2.1. *Formulación del problema*

¿En qué medida las simulaciones por el método Monte Carlo al obtener datos de radiación UVA-UVB en las zonas del cantón Guano difieren con los datos estandarizados que arrojan las estaciones del INAMHI?

1.3. *Justificación de problema*

Para la mayor parte de investigadores las simulaciones tienen como objetivo modelizar sistemas hipotéticos o reales con el fin de comprender su ejecución, funcionamiento para ser estudiados y se pueda predecir su comportamiento, en aspecto de desarrollo la simulación ha ido a la par con la evolución de la Informática, uno de sus avances fue el llamado "método de Monte Carlo" debido a la correspondencia entre la generación de números aleatorios.

Este tipo de método hoy en día ayuda de gran manera a encontrar mayor aproximación de resultados respecto a los encontrados por experimentos que presenten situaciones cotidianas o fenómenos presentes en nuestro entorno, con una tolerancia de error pequeño ajustándose a los rendimientos más óptimos y esperados al momento de hacer un experimento o el uso de un instrumento en entornos fuera de los comunes, como se ha mencionado el gran beneficio que presenta este modelo desde sus inicios será una pieza clave para la presente investigación que servirá como un sistema de información propio del cantón Guano, al momento de comprobar los resultados obtenidos por los distintos aparatos que miden la radiación en una zona generalizada, aportando con información a partir de la cual se pueda realizar comparaciones que permitan diferenciar las variables topográficas y climatológicas en dependencia de los datos obtenidos.

La investigación busca además que los resultados obtenidos aporten un valor teórico y a su vez sirva como aporte a mejorar la malla de estimaciones por radiación solar, en la actualidad dichas estimaciones son generadas por el Laboratorio de Energías Renovables (NREL) de Estados Unidos. De igual manera permita generar el interés por parte de las autoridades de los cantones aledaños que no cuentan con aparatos y equipos para la medición de la radiación UV; permitiendo de esta manera contar con información útil y oportuna para sus habitantes para tomen las medidas necesarias al momento de exponerse a la radiación UV, evitando futuros daños y efectos a su salud conforme pase el tiempo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Aplicar el uso de simulaciones Monte Carlo para el análisis de información de radiación UVA-UVB en el cantón Guano.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el principio de las simulaciones por el método de Monte Carlo para la recopilación de datos.
- Describir las bases del método de Monte Carlo en la toma de datos al azar en una zona específica.
- Analizar los diferentes factores topográficos que influyen en los resultados de la simulación para la recopilación de información de la radiación UVA-UVB.
- Comparar los resultados entre los datos obtenidos mediante la simulación y los datos ofrecidos por el INAMHI.

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. Elementos de radiometría

1.5.1.1. Antecedentes históricos

Es bien sabido que, en principio, los equipos para la detección de radiaciones ionizantes existen desde hace mucho tiempo: el fenómeno de la termoluminiscencia se describió por primera vez en el siglo XVII; el microscopio electrónico de lámina de oro se inventó en el siglo XVIII. La fotografía nació a principios del siglo XIX todo esto gracias al descubrimiento hecho por Röntgen en la tarde del 8 de noviembre de 1895 quien observó que en un cartón recubierto con cianuro de platino donde el bario emite una luz verde tenue y fluctuante (Fluorescencia) mediante una descarga cada vez que el equipo electrónico tenía contacto con el tubo de Hittorf-Crookes que se sitúa cerca de la pantalla (Flakus, 2005, p.31).

Por otra parte los orígenes de la medición de la radiación dan como protagonista al francés Henri Becquerel también conocido como: “*El padre de la radioactividad*” inculcado de su padre Alexandre-Edmond Becquerel y su pasión por la fosforescencia, en su trabajo de investigación presentado en la sesión de la Academia de Francia un 24 de febrero mediante sales cristalinas de uranio detallando; que al envolver en una película fotográfica con hojas de papel bien gruesas evitando la exposición del sol durante un día se revela la silueta de la sustancia (Ester Brandan, 1995, pp.209-210), todos estos estudios impulsarían a investigaciones posteriores surgiendo dos ramas de estudio como: la Radiometría y Fotometría.

1.5.1.2. Radiometría

Se puede definir a la radiometría como un campo relacionado con la medición científica y de ingeniería. aplicada a la radiación electromagnética, más específicamente la medición de energía radiante; electromagnéticamente incoherente en todos los medios (Gas, líquido, sólido y plasma), en efecto emitan o irradian energía electromagnética.

O como define McCluney:

La radiometría es un sistema de lenguaje, matemáticas e instrumentación que se utiliza para describir y medir la propagación de la radiación electromagnética, incluidos los efectos sobre esa radiación de reflexión, refracción, absorción, transmisión y dispersión de sustancias materiales en su estado sólido, líquido y gaseoso (McCluney, 2016, p.1).

La radiometría tiene la característica de describir la transferencia de energía (o energía por unidad de tiempo, potencia) desde la fuente al detector, reconociendo la validez del modelo de geometría de trayectoria y la conservación de energía a lo largo del tubo emisor. Por tal motivo, los posibles efectos de interferencia y difracción no se consideran importantes (Gómez, 2006, p.4).

1.5.1.3. Definiciones y relaciones generales

Al hablar de elementos nos enfocaremos en el desarrollo de las magnitudes en terminología de la radiometría, es decir, el proceso utilizado para determinar la energía transportada por ondas electromagnéticas; con definiciones necesarias, precisas y el significado de términos específicos.

1.5.1.4. Las ondas electromagnéticas (oem)

De los trabajos teóricos publicados por James Clerk Maxwell en 1864, como se menciona, la energía puede propagarse en el espacio sin ningún medio material como soporte en forma de ondas electromagnéticas (oem). A través de estas ondas electromagnéticas, parte de la energía emitida por el sol puede llegar a la tierra, sustentando así la vida.

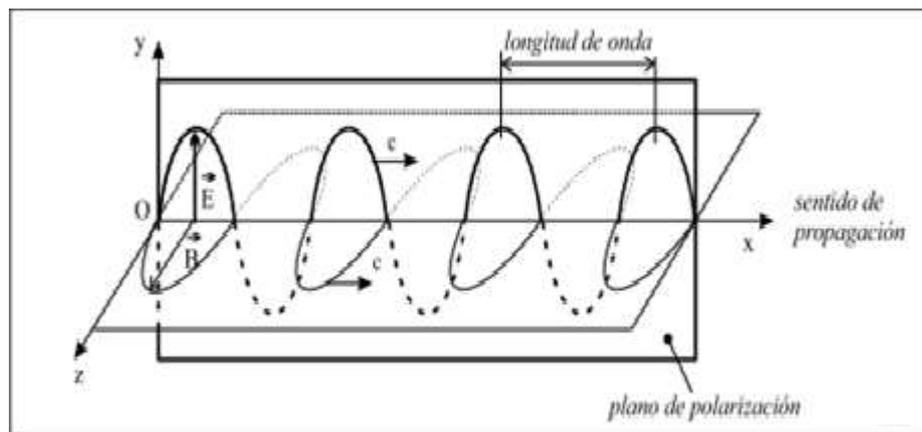


Figura 1-1. Onda electromagnética plana polarizada linealmente.

Realizado por: Cachorro , 2008.

El plano de polarización oem también llamado campo eléctrico en el cual la velocidad de translación de estas dos sinusoides cruzadas es extremadamente grande y depende de la naturaleza del medio atravesado; en el vacío con un valor máximo de $c = 2,99776 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$. Las propiedades que manifiesta las oem cuando interactúan con el medio atravesado, dependen de la frecuencia ν de vibración de sus campos y de su longitud de onda “definida como la distancia que separa a dos máximos sucesivos del campo” (Cachorro Revilla, 2008, p.18); en dicho medio, descrita en la siguiente ecuación:

$$\lambda = v/c \tag{1.1}$$

El rango de longitud de onda de las oem

En la naturaleza el ser humano ha podido encontrar valores de longitud de onda de las oem extremadamente amplio, en la figura 3-1, se puede observar cada una de ellas.

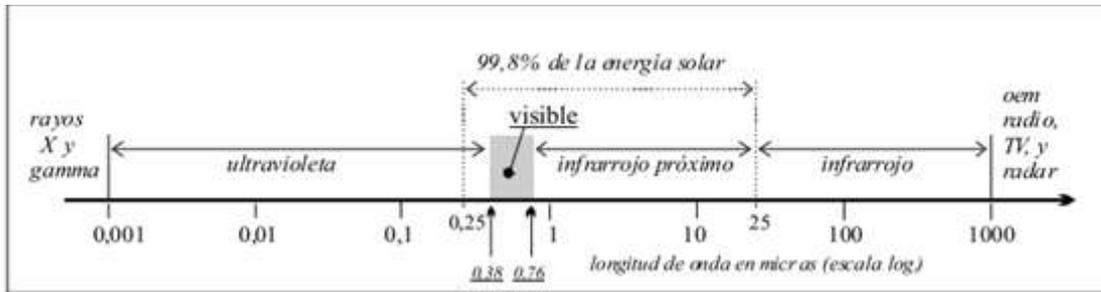


Figura 2-1. Rango de longitud de onda de las oem.

Realizado por: Cachorro, 2008.

Una manera de entender más sobre las oem de origen solar que cubren un rango que alcanza desde el Ångstrom (10^{-10} m), hasta los 10 km (10^4 m). En tanto, más del 99,8% de la potencia irradiada por este astro está concentrada en una banda estrecha desde 0,25 μm hasta 25 μm , y casi el 50% de la banda le pertenece únicamente al espectro visible, en un rango de [0,38 μm - 0,76 μm].

Según Gómez (2006, p.4), que los criterios de la *Comisión Internationale de l'Eclairage* (CIE), se distinguen, de forma convencional, en la tabla 1.1 se muestran las bandas con su respectivo rango:

Tabla 1-1. Rango de bandas de radiación respecto a sus longitudes de onda.

NOMBRE	RANGOS DE LONGITUDES DE ONDA
UV-C	100 nm – 280 nm
UV-B	280 nm – 315 nm
UV-A	315 nm – 400 nm
VIS (VISIBLE)	(360-400) nm hasta (760-800) nm
IR-A (INFLARROJO CERCANO, NEAR IR, NIR)	780 μm – 1400 nm
IR-B	1,4 μm – 3,0 μm
IR-C (INFLARROJO LEJANO, FAR IR)	3,0 μm – 1,0 mm

Fuente:(Cachorro Revilla 2008).

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

1.5.1.5. Los fotones

En origen del concepto energía, la teoría del “*cuero negro*” estructurada por Planck, y según los estudios presentados por Einstein al comienzo del Siglo XX sobre el efecto fotoeléctrico, se conoce que la energía de las oem es transportada por partículas sin masa, llamadas “*fotones*”. por lo cual cada fotón contiene un “quantum” o paquete de energía de valor $w =vh$, siendo v la frecuencia y h la “*Constante de Planck*”(Romero Rochín, 2015, pp.2-20).

En realidad, la representación de los dos campos que interactúan campo eléctrico y el magnético, en la forma de una senoide se lo representado con simplificación. De modo que ninguna oem real podrá tener la longitud infinita para la representación de un modelo elemental, por consiguiente, el tiempo necesario para la medición finita de los procesos de emisión resulta erróneo; debido a que una vibración electromagnética no puede estar constituida de una sola longitud de onda, sino que debe comprender todo un rango extendido alrededor de un valor central λ (Cachorro Revilla, 2008, p.19).

1.5.1.6. Los ángulos sólidos

Según menciona Redondo en su trabajo: ”Ángulo sólido es cada una de las dos partes en que una superficie cónica divide al espacio”(Redondo et al., 2017, p.4). De igual manera que el ángulo permite medir partes de un plano con forma cónica, el ángulo sólido proporciona la medida del espacio en porciones que presentan la forma de varios conos; de manera que permita medir la propagación de la radiación en tres dimensiones, por lo tanto, dicho cono describe el centro de la esfera llamado también vértice del cono, y la semirrecta perpendicular al centro conocida como generatriz (figura 3-1).



Figura 3-1. Superficie referente al ángulo sólido.

Realizado por: Cachorro , 2008.

Relación diferencial de un ángulo sólido (Ω)

Para que la relación diferencial sea lo más conciso posible; consideremos que, el valor del ángulo sólido Ω que delimita un cono cualquiera es igual el área S cortada por dicho cono sobre una esfera centrada en su vértice, de manera que, si dividimos por el radio R al cuadrado de esta esfera, de manera que tendremos lo siguiente:

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad (1.2)$$

Dicha medida se escribe en estéreo-radianes (sr) podemos observar en la (figura 5-1).

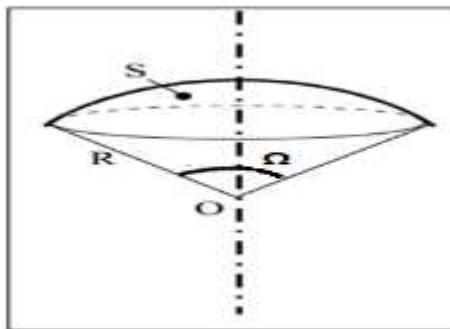


Figura 4-1. Representación del ángulo sólido respecto a la perpendicular.

Realizado por: Cachorro, 2008.

Además, se puede demostrar que se mide el ángulo sólido de un cono giratorio, y el ángulo entre el eje de simetría del cono giratorio y la generatriz es α , de modo que:

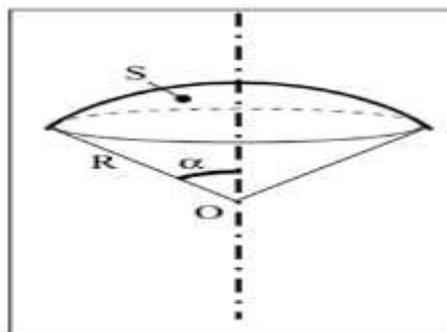


Figura 5-1. Eje de simetría del cono giratorio y la generatriz es α .

Realizado por: Cachorro, 2008.

Donde la ecuación de ángulo sólido en función del eje de simetría se representa por:

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha) \quad (1.3)$$

La ecuación 1.3 nos indica que el ángulo sólido de un semiespacio vale 2π sr este valor es de Ω obtenido de modo que el cono se transforma en un plano, para $\alpha = \pi/2$ rad, además, el ángulo sólido de todo el espacio tiene el valor numérico de 4π sr; valor designado para Ω cuando el cono engloba todo el espacio, para $\alpha = \pi$ rad. Al proseguir con el ángulo sólido de vértice O que intercepta a la distancia $OO' = r$, de la superficie plana dS^2 , considerablemente pequeña en dirección a r y su perpendicular contiene en si un ángulo agudo ϕ con distancia OO' (Redondo et al., 2017, pp.5-7), se obtiene la siguiente ecuación:

$$d^2\Omega = \frac{d^2S \cos \phi}{r^2} \quad (1.4)$$

Luego representaremos de la siguiente manera:

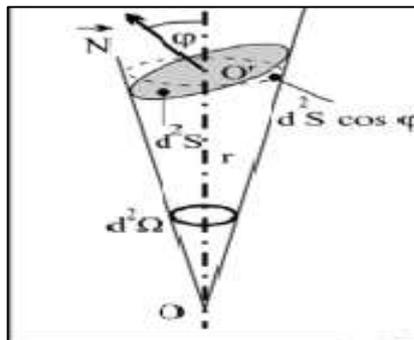


Figura 6-1. Representación del ángulo sólido mediante coordenadas esféricas.

Realizado por: Cachorro Revilla 2008.

La figura 6-1. incorpora una representación un sistema de coordenadas esféricas (r, θ, ψ) de manera que $r^2 \sin\theta d\theta d\psi$ remplazara a $dS^2 \cos \phi$ de modo que la ecuación se reescribe de la siguiente manera:

$$d^2\Omega = \sin\theta d\theta d\psi \quad (1.5)$$

1.5.1.7. Magnitudes energéticas

Energía radiante (Q)

Se denotará como la cantidad de energía que incide, se propaga y es emitida en una superficie de área dada en un período de tiempo; de manera que, se incluyen todas las longitudes de onda contenidas en la radiación. Esta magnitud que se expresa en Vatios [W], energía por unidad de tiempo o potencia o también en Julios [J] = kg·m²/s (Gómez, 2006, p.6).

Energía radiante espectral (Q)_λ

Se define como la energía radiante por intervalo unitario de longitud de onda su unidad de medida es J/nm o J/μm (Cachorro Revilla, 2008, p.24).

$$Q_{\lambda} = \frac{dQ}{d\lambda} \quad (1.6)$$

Flujo radiante (Φ)

Se define como el flujo de energía radiante por unidad de tiempo su unidad de medida es W, 1W=1J/s (Gómez, 2006, p.7).

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (1.7)$$

Flujo radiante espectral (Φ)_λ

Esta magnitud es importante para la mayoría de las aplicaciones, como la caracterización a la respuesta de un detector en función de la energía incidente (Gómez 2006, p.7), de tal manera se define al flujo radiante espectral como la energía radiante por unidad de tiempo y unidad de longitud de onda. Se mide en W/nm.

$$\Phi = \Phi_{\lambda}(\lambda) = \frac{dQ_{\lambda}}{dt} = \frac{d\Phi}{d\lambda} \quad (1.8)$$

La distribución espectral del flujo radiante es muy importante para la mayoría de las aplicaciones, incluyendo la caracterización de la respuesta de un detector en función de la energía incidente.

La irradiancia solar (E)

Es la magnitud que utiliza para indicar el valor de la radiación incidente en la superficie. En el caso del sol, se define como la energía solar recibida por m². La irradiancia solar en la parte superior de la atmósfera es perpendicular a la dirección de la luz, Se mide en W/m² (Mccluney, 2016, p16).

$$E = \frac{d\Phi}{dS_0} \quad (1.9)$$

Al contar con irradiancias espectrales y totales se puede relacionar mediante la siguiente integral:

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda \quad (1.10)$$

Irradiancia espectral solar extraterrestre ($I_{on\lambda}$)

El flujo espectral de radiación que llega fuera de la atmósfera de la tierra tiene mucha importancia para los sistemas fotovoltaicos de satélites. Por lo tanto, es un flujo de la radiación solar que se distribuye espectralmente al llegar a la superficie que está en función de su distribución extraterrestre y los componentes atmosféricos. La (NASA) junto con la colaboración con el Centro Mundial de la radiación (WRC) en Davos; donde se dio la coordinación para establecer los datos de Irradiancia espectral solar extraterrestre adaptada por Frolich y Wehrli quienes desarrollaron una tabla mirar ANEXO A.

Intensidad radiante (d^2I)

Se describe densidad de flujo radiante por unidad de ángulo sólido incidente, atravesando y difundido por un punto en un plano espacial propagándose en una dirección fija. Su unidad de medida es W/sr (Cachorro Revilla, 2008, p.8).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1.11)$$

En el caso de ser una fuente puntual o pequeñas dimensiones se describe de la siguiente manera:

$$d^2I = \frac{d^4\Phi}{d^2\Omega} \quad (1.12)$$

Radiancia para una fuente plana de pequeñas dimensiones (L)

Se define como la potencia que poseen las oem que un elemento irradia en una dirección si consideramos al ángulo sólido $d^2\Omega$ como punto de partida de una superficie $d^2\Sigma$ con un flujo continuo $d^4\Phi$, en lo tanto la radiancia L que se expresa en $W m^{-2} sr^{-1}$, se escribe de la siguiente manera (Mccluney, 2016, p.16).

$$d^4\Phi = L d^2\Sigma \cos \theta d^2\Omega \quad (1.13)$$

Ley de Kirchhoff

La emitancia monocromática M_λ y la absorbancia monocromática α_λ dependen de la temperatura, de la superficie del cuerpo y de la longitud de ondas. En 1859, Gustav Kirchhoff, por consideraciones teóricas demostró que la relación entre la emitancia monocromática y la absorbancia es igual a la radiancia monocromática (Mccluney, 2016, p.17). Donde,

$$E_\lambda = \frac{M_\lambda}{\alpha_\lambda} \quad (1.14)$$

Constante Solar (B_0)

Es el valor medio de la irradiancia solar en la cima de la atmósfera, en dirección perpendicular a los rayos solares es de $B_0 = 1.367 W / m^2$ que en realidad puede mantener docenas o cientos de años; básicamente depende de factores de Astronomía o astrofísica, sus cambios son considerablemente muy lentos (Cachorro Revilla, 2008, p.37).

1.5.2. Radiación ultravioleta (UV)

Se entiende por radiación ultravioleta la radiación cuya longitud de onda es menor que la de la luz visible pero mayor que la de los rayos x, es decir, varía entre los 400 y 100 nm (World Health Organization, 2003 , p.2). Mencionemos que al ser una fuente de energía su interacción con nuestra capa de ozono hace que sus subtipos se vayan atenuando como se observa en la figura

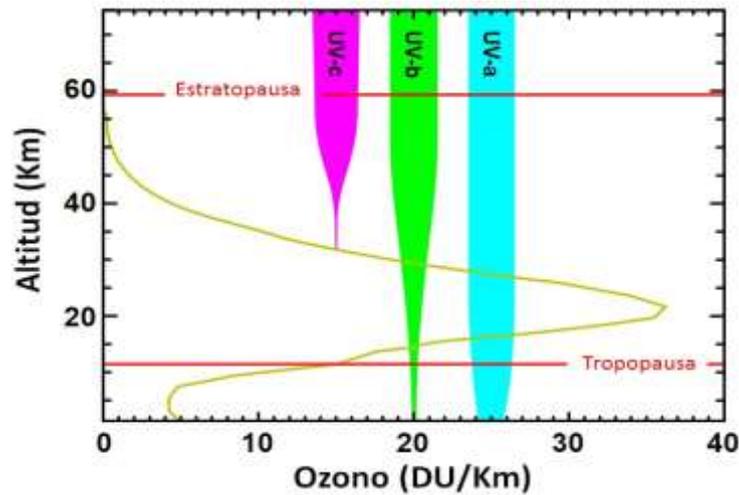


Figura 7-1. Radiación ultravioleta que penetra la atmósfera en dependencia de la concentración del ozono.

Realizado por: Mito Revista Cultural, 2016.

1.5.2.1. UVA

Radiaciones de longitud de onda larga comprendida entre los 315 y 400 nm. Apenas retenidos por la atmósfera. Al menos el 90% de las radiaciones que llegan a la superficie terrestre son UVA. UVA se subdivide en UVA-I (340 nm - 400 nm) y UVA-II (315 nm - 340 nm) (World Health Organization, 2003, p.12).

1.5.2.2. UVB

Radiaciones de longitud de onda media comprendida entre los 280- 315 nm. Representan como máximo un 10% de las radiaciones que llegan a la superficie terrestre (World Health Organization, 2003, p.12).

1.5.2.3. UVC

Radiaciones de longitud de onda corta comprendida entre los 100 y los 280 nm. Las radiaciones UVC son absorbidas en su totalidad por la capa de ozono (World Health Organization, 2003, p.12).

1.5.2.4. Factores que influyen en los niveles de radiación UV

De acuerdo con Benavides Ballesteros (2010, p.10), los niveles de radiación UV varían a lo largo del año y durante el día, tal que, cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación mayores serán los niveles en el día, esto es entre las 10 a.m. y las 2 p.m cerca del 60% de la radiación UV

total, por otra parte, cuando el ángulo del Sol está más cercano al horizonte llega menos radiación gracias a la mayor distancia y que se encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción; otros de los tantos factores que influyen para que la radiación UV varíe es la ubicación geográfica, como la zona ecuatorial los rayos solares penetran más fijamente que en las latitudes medias.

- **Ozono de la atmósfera**, la vida en general se ha desarrollado gracias a este compuesto que hace de capa protectora contra los rayos solares UV la cual es absorbida y dispersa en la atmósfera; por lo tanto, la intensidad que presente la radiación UV dependerá de la cantidad de ozono que contenga la atmósfera que puede variar dependiendo el lugar por motivos de contaminación.
- **Geográfica**, influyen para que la radiación UV varíe por la ubicación, como la zona ecuatorial los rayos solares penetran más fijamente que en las latitudes medias (Benavides Ballesteros, 2010, p.11).
- **Altitud**, establece la cantidad de radiación UV en un lugar, debido a que en zonas con grandes elevaciones montañosas contienen el aire es más limpio y una delgada capa atmosférica por donde deben recorrer los rayos solares, de modo que aumentará la cantidad de radiación UV (Chávez et al., 2006, pp.5-6).
- **Nubosidad**, afecta la cantidad de radiación UV que llega a la superficie terrestre, por la conformación de las nubes que contienen gotas de agua y los cristales de hielo, actuando como excelentes difusores de radiación UV, mediante el fenómeno conocido como dispersión Mie (Benavides Ballesteros, 2010, p.11).
- **La contaminación**, al igual que la nubosidad mientras mayor número de partículas posea el medio más difícil será para que la radiación se desplace libremente por lo tanto en las ciudades con mayor contaminación la cantidad UV se reduce (Chávez et al., 2006, pp.5-6).
- **Superficies reflectantes**, es preciso tener en claro los tipos de superficies unas reflejan o dispersan la radiación UV en diferente medida; por ejemplo, la nieve o agua congelada puede reflejar hasta un 80% de la radiación UV; en zonas costeras la arena seca de la playa alrededor de un 15% y la espuma del agua del mar influye con un 25%. Otras superficies reflectantes son la hierba y las superficies de aguas planas en la naturaleza o vías, edificaciones y superficies lisas brillantes (Cañarte Soledispa, 2010, pp.29-30).

1.5.2.5. Irradiancia Ultravioleta Eritemática

También conocida como irradiación ultravioleta eritemáticamente activa (UVER), estructurada mediante estudios sobre el eritema solar causante del enrojecimiento de la piel, que tuvo sus inicios hace más de 70 años por la necesidad de saber los efectos biológicos de la radiación, dentro del intervalo espectral de muestra con un máximo absoluto en los 297 nm y un mínimo relativo

en los 280 nm (Serrano Jareño, 2013, p.23), por otra parte según Calle (1999, p.1) menciona que el intervalo espectral corresponde a la longitud de onda $\lambda=[280 \text{ nm}, 400 \text{ nm}]$, ya que las longitudes de onda inferiores son absorbidas.

Coefficiente de acción eritemática $\epsilon(\lambda)$

Este coeficiente fue propuesto por McKinlay and Diffey en el año de 1987 que caracteriza el efecto de eritema, con un máximo a partir de las $0.280 \mu\text{m}$ y decrece a medida que aumenta la longitud de onda, de esta manera el poder eritemático total de la radiación se adquiere mediante la integral de irradiancia espectral total determinada por el coeficiente de acción eritemático (Serrano Jareño, 2013, p.1). La cual se expresa por:

$$E_{eritem} = \int E(\lambda) \cdot \epsilon(\lambda) d\lambda \quad (1.15)$$

Donde E_{eritem} es la irradiancia eritemática y la irradiancia solar $E(\lambda)$ de la longitud de onda λ a nivel de la superficie.

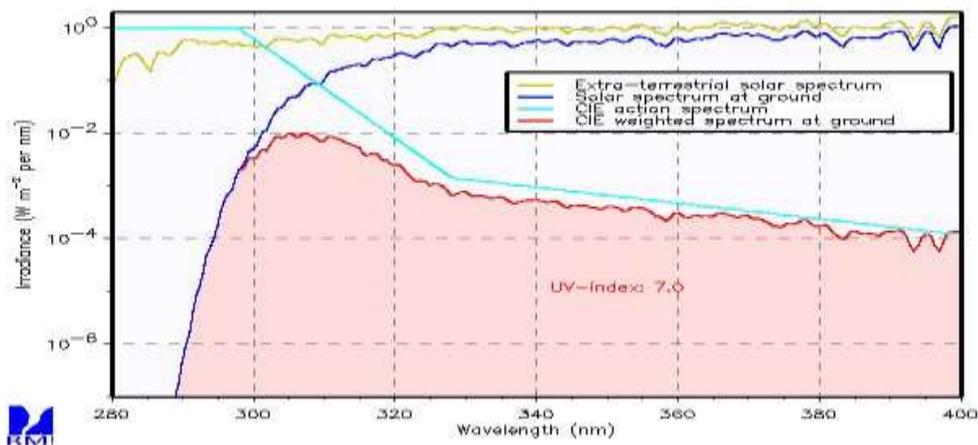


Figura 8-1. UVER y curva del espectro de acción del eritema humano.

Realizado por: Serrano Jareño, 2013.

Dosis MED

Por sus siglas en inglés (Minimum Erythermal Dosis) se refiere a la dosis mínima de UVER que genera un enrojecimiento perceptible en la piel humana al no estar expuesta previamente a la radiación solar, hoy en día en países gran parte europeos se tiene cuatro foto tipos en relación de su capacidad para broncearse (Serrano Jareño, 2013, p.24).

Tabla 1-1: Clasificación de foto tipos y dosis MED según la norma DIN 5050.

Foto tipo	MED	Color pelo	Color ojos	Se quema tras la exposición al sol	Se broncea tras la exposición al Sol
Tipo I	200 J/m ²	Rojo	Azul	Siempre	Raramente
Tipo II	250 J/m ²	Rubio	Azul/verde	Habitualmente	Algunas veces
Tipo III	350 J/m ²	Castaño	Gris/marrón	Algunas veces	Habitualmente
Tipo IV	450 J/m ²	Negro	Marrón	Raramente	Siempre

Fuente: (OMS; et al., 2003)

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

1.5.2.6. El Índice UV (IUV)

El término IUV tiene sus inicios el 27 de mayo del 2004 y fue propuesto por la OMS en colaboración con la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante, el término (IUV) se refiere a la medida de la intensidad de la radiación UV solar en la superficie terrestre. Se expresa mediante una escala de 1 que es BAJO , a > 11 PELIGROSAMENTE ALTO a la cual se agrega un color distintivo (Cañarte Soledispa, 2010, p.30).

CATEGORÍAS DE EXPOSICIÓN A LA RADIANCIÓN UV	
CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE	11 +

Figura 9-1. Categorías de exposición a la radiación UV

Realizado por: OMS; et al. 2003.

Al ser el Ecuador una pequeña parte de nuestro planeta, de igual manera recibe radiación al igual que otros países por estar en el mismo hemisferio tal como se muestra en la siguiente figura 9-1, donde se observa que en su mayor parte el Ecuador tiene un IUV muy alto.

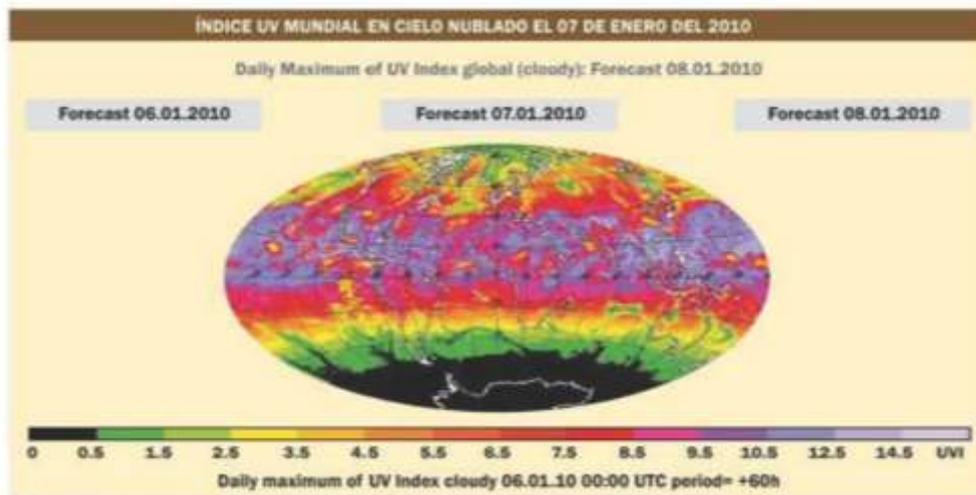


Figura 10-1. Índice UV mundial en cielo nublado del 07 de enero del 2010

Realizado por: Cañarte Soledispa, 2010, p.30.

1.5.2.7. Efectos de la radiación UV en la salud

Según la US EPA (2019, p.1), la radiación ultravioleta (UV) aumenta al reducirse de la capa de ozono que es nuestro protector natural produciendo problemas de salud como:

- **Cáncer de piel**, se produce por la exposición crónica a los UVB y en menor medida a los UVA producirá a largo plazo la aparición de carcinomas escamosos invasivos, carcinomas baso celulares, melanoma y probablemente otros carcinomas cutáneos debido al daño del ADN y que interfiere con los mecanismos moleculares inmunológicos del individuo (Cañarte Soledispa, 2010, p.31).
- **Cataratas y otros daños a los ojos**, al paso del tiempo y al no tener el debido cuidado usando lentes polarizados se puede tener un alto índice de adquirir signos de fotoqueratitis y la foto conjuntivitis son efectos agudos de la exposición a la radiación UV. Al hablar de las cataratas estudios han demostrado que la capacidad de filtrar la luz UV de la lente ocular disminuye linealmente con la edad a razón de un 12% por década esta es la razón principal, donde la catarata es la causante de ceguera en todo el mundo, teniendo en cuenta que la mayoría de las personas presentan un mayor o menor grado de exposición al sol (Aldana, 2011, p.1).
- **Envejecimiento prematuro y otros daños a la piel**, se le denomina a la radiación UV como un factor exógeno responsable de envejecer la piel prematuramente, los signos de envejecimiento y su magnitud está relacionada directamente a la intensidad y duración de la exposición a la luz y el grado de sensibilidad de la piel; de modo que además produce pigmentación en lugares expuestos como lunares y las llamadas “pecas” (Andalucía, 2009, p.4).
- **Supresión inmune**, se refiere a un efecto inmunodepresor debido a diversos antígenos, así como frente al crecimiento de carcinomas cutáneos foto inducidos, que no es totalmente suprimido por la aplicación de filtros solares; por este motivo la radiación UV a dosis

relativamente bajas, provoca modificaciones inmunológicas tanto sistémica como locales en la piel (Cañarte Soledispa, 2010, p.31).

1.5.3. Factores espectrales de absorción, reflexión y transmisión

1.5.3.1. Introducción a los factores de absorción, reflexión y transmisión

Pensemos en una fuente de energía radiante que incide sobre una superficie d^2S de forma que la densidad de flujo de radiación Φ representa la energía radiante global incidente por unidad de tiempo y que dicha superficie es perpendicular al flujo, haciendo que la irradiancia E de la superficie represente una parte de ella se absorba en el material, otra parte se refleje en la superficie y la restante de dicha irradiancia se transmite a través del material (Domingo, 2015, p.42).

1.5.3.2. Los factores totales direccionales

Al mencionar el termino direccional implica definir a un vector (i) por donde se propague el flujo total de radiación $d^4\Phi$ y alcance una superficie $d^2\Sigma$ con un ángulo θ dentro de un ángulo sólido $d^2\Omega$ se tendrá los respectivos flujos con sus factores asociados (Domingo, 2015, pp46-47).

Factor de reflexión total direccional (ρ')

$$\rho' = \frac{d^4\Phi_r}{d^4\Phi_i} \quad (1.16)$$

Factor de transmisión total direccional (τ')

$$\tau' = \frac{d^4\Phi_t}{d^4\Phi_i} \quad (1.17)$$

Factor de absorción total direccional (α')

$$\alpha' = \frac{d^4\Phi_a}{d^4\Phi_i} \quad (1.18)$$

1.5.3.3. Los factores totales hemisféricos

Mencionemos una superficie d^2S de forma que incide un flujo espectral hemisférico $d^2\Phi_{\lambda i}$ que proviene de un semiespacio libre; como el resultado de la yuxtaposición de una multitud de flujos direccionales dentro de un pequeño ángulo sólido $d^2\Omega_i$ bajo incidencia θ_i formando un conjunto de integración.

$$d^2\Phi_{\lambda i} = \iint d^4\Phi_{\lambda i} = \iint L_{\lambda i} d^2S \cos \theta_i d^2\Omega_i \quad (1.19)$$

De esta manera se pueden aún definir los tres factores con magnitudes adimensionales características del material, implicando funciones, no solamente de la longitud de onda λ del flujo incidente; otra manera de representar la distribución espacial de su intensidad (Cachorro Revilla, 2008, pp 54-56).

Factor de reflexión espectral hemisférico (ρ) $_{\lambda}$

$$\rho_{\lambda} = \frac{d^4\Phi_{\lambda r}}{d^4\Phi_{\lambda i}} \quad (1.20)$$

Factor de transmisión espectral hemisférico (τ) $_{\lambda}$

$$\tau_{\lambda} = \frac{d^4\Phi_{\lambda t}}{d^4\Phi_{\lambda i}} \quad (1.21)$$

Factor de absorción espectral hemisférico (α) $_{\lambda}$

$$\alpha_{\lambda} = \frac{d^4\Phi_{\lambda a}}{d^4\Phi_{\lambda i}} \quad (1.22)$$

1.5.4. La radiación solar y la atmósfera

1.5.4.1. El sol como fuente de energía y de radiación

Se comprende que el sol es una gran máquina generadora de energía ubicada a unos 150 millones de kilómetros de distancia y que en su interior (núcleo) se produce la reacción de fusión nuclear $H \rightarrow He$, cerca de 4 millones de toneladas de materia convertidas en energía cada segundo; es

similar a un reactor nuclear gigante con una potencia aproximada de 1026 W, es decir, una central nuclear convencional de aproximadamente 10 billones de megavatios como la central nuclear de Vandellós.

Por otra parte según Buitrago (2005, p.10), menciona que el sol emite continuamente 62.600 kilovatios (o kilovatios) de potencia por metro cuadrado de superficie. Esta situación ha durado 4.500 millones de años y se estima que esta situación se prolongará durante 5.000 millones de años, lo que es prácticamente ilimitado en términos de supervivencia humana.

- La energía solar tiene ventajas como:
- Elevada calidad energética.
- Pequeño o nulo impacto ecológico.
- Inagotable a escala humana.

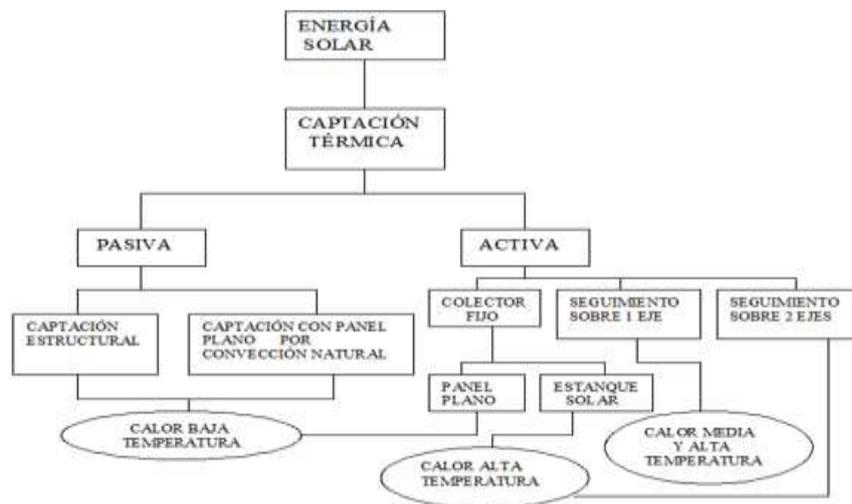


Figura 11-1. Diferentes tipos de energía solar termoeléctrica

Realizado por: Álvarez Hernández et al., 2014.

1.5.4.2. Posición del Sol respecto a una superficie inclinada

Para poder medir la posición del Sol respecto a una superficie inclinada se debe el ángulo de incidencia Θ , que representa el ángulo entre la radiación directa en una superficie y la normal a dicha superficie en este caso la cara que expone la tierra al sol.

Para ser más claros una superficie inclinada está definida por su ángulo de inclinación también llamada pendiente β , y un ángulo azimutal γ , que está representado por el ángulo entre el meridiano y la prolongación horizontal con normal de la superficie atmosférica.

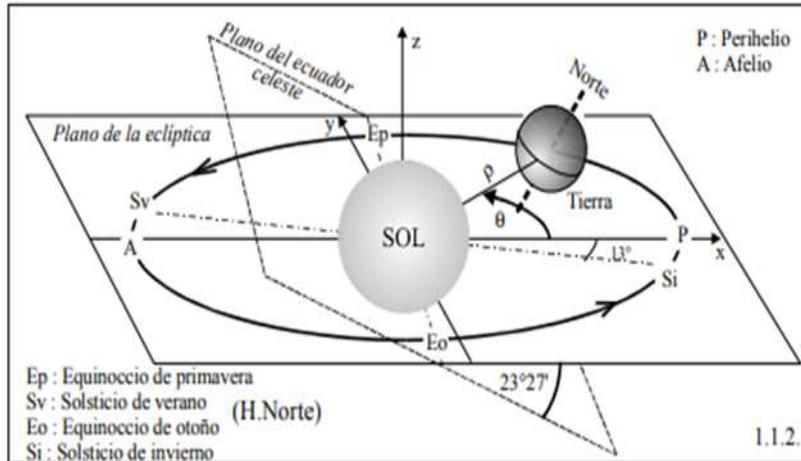


Figura 12-1. Inclinación de la tierra respecto al sol.

Realizado por: Cachorro, 2008.

1.5.4.3. La Tierra en el espacio

Sabemos que nuestro planeta tiene diversos movimientos en el espacio que se encuentra e incluso que gira sobre un eje alrededor de su superficie, en dos puntos, estos dos puntos se denominan polos geográficos norte y sur. Por supuesto, el eje no está estrictamente fijo en relación con la tierra. De hecho, es posible mostrar un lento movimiento geográfico hacia el norte que describe una espiral irregular dentro de un círculo de un radio de 10 m, que gira aproximadamente una vez cada 14 meses (Cachorro Revilla, 2008 p.74). Hay que agregar también su trayectoria alrededor del sol y el sistema tierra-luna; las cuales determinan un sistema de posiciones de referencia en este caso el de Copérnico (Oxy) para el estudio de dichos movimientos.

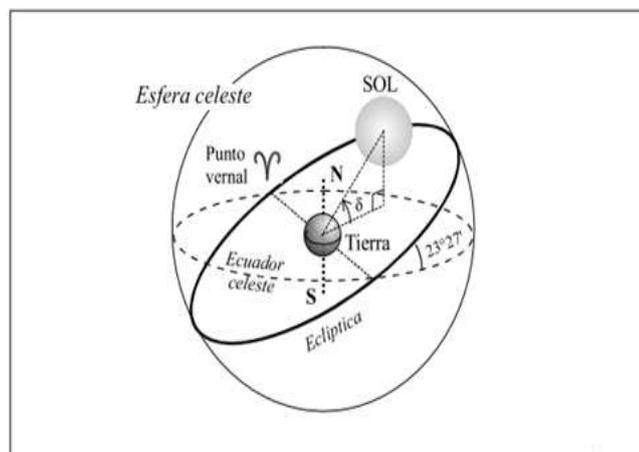


Figura 13-1. Característica de una esfera celeste.

Realizado por: Cachorro Revilla, 2008.

Factor de corrección de la distancia entre la Tierra y el Sol

Debido al movimiento que realiza la tierra alrededor del sol la distancia Tierra -Sol (r) se escribe por medio de una expansión de términos de series de Fourier con un valor determinado de coeficientes. Alojando un error muy aceptable del 0,0001 definida a partir de:

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365} \quad (1.23)$$

Donde Γ representa el ángulo del día en radianes, para d_n es el día juliano contando desde el 1 de enero respectivamente con el 1 hasta el 31 de enero tomando el valor de 365. De esta manera nuestro factor quedara expresado mediante:

$$E_0 = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1,0011 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.001280 \sin \Gamma + 0.000719 \cos 2\Gamma + 0.000077 \sin 2\Gamma \quad (1.24)$$

De esta manera también se debe tomar en cuenta la **declinación** (σ) que presenta la tierra debido a su eje de inclinación expresado mediante la ecuación la más aceptada para muchos.

$$\sigma = 0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma \quad (1.25)$$

Zenit (θ_z), es el complementario de la altura solar, es de gran importancia pues su factor controla la variación de radiación durante el día, cuanto mayor inclinación hay respecto al Sol menor será el ángulo (θ_z), por lo cual describirá la llegada de los rayos a la superficie de la atmósfera (Bautista Carrascosa 2013).

Ecuación del tiempo (Et), se comprende como una diferencia entre el TSV que se lo mide mediante un reloj solar y el TSM el cual se refiere al tiempo civil y se coordina mediante el Tiempo Medio de Greenwich, según Spencer la ecuación del tiempo viene dado por:

$$Et = 0.000075 - 0.001868 \cos \Gamma - 0.032077 \sin \Gamma - 0.014615 \cos 2\Gamma - 0.04089 \sin 2\Gamma \quad (1.26)$$

1.5.4.4. Las referencias locales

Se puede definir como referencia a un conjunto de tres ejes ortonormales que se cortan en el punto origen P y de este modo hablaremos sobre referencia horizontal (RH) o acimutal, y la referencia ecuatorial (RE) que son dos de la variedad de clases de referencias que permiten determinar la posición del Sol en el cielo partiendo de un punto fijo sobre la superficie de la Tierra (Cachorro Revilla, 2008, p.78).

La referencia Horizontal (RH)

Este tipo de referencia posee tres ejes dos de los cuales son horizontales; P_x uno de ellos apunta hacia el sur geográfico, P_y el segundo apuntando hacia el este, y el tercero que es vertical y apunta hacia el cielo (Cachorro Revilla, 2008, p.79).

La referencia Ecuatorial (RE)

La otra forma de referencia RE se deduce de RH debido a una rotación de esta última alrededor de los ejes de referencia de RH apuntan hacia el norte paralelamente al eje de la Tierra, donde su cantidad de esta rotación es $\pi/2 - \Lambda$, siendo el ángulo Λ la latitud del punto P (Cachorro Revilla, 2008, p.79).

1.5.5. Radiación solar directa y difusa

1.5.5.1. Introducción a la radiación 'solar directa

Para tener una idea sobre el análisis del estudio de la radiación nos remontaremos al año de 1981 Bird y Hulstrom diseñaron un modelo partiendo del análisis y comparación de los modelos de radiación directa de Atwater y Ball. Dicho modelo contribuye con unos códigos espectrales diseñados para generar resultados de cálculos de radiaciones de banda ancha después de una serie de procesos de integración a lo largo el espectro (Chamorro et al., 2017, p.2).

1.5.5.2. Modelos para calcular la radiación directa y difusa

De estudios preliminares dados un modelo para determinar la radiancia directa y difusa se debe tener a consideración, la construcción de una base metodológica donde se tomen cuenta ciertos elementos que atenúan la radiación solar a su paso por la atmósfera (Vanegas Chamorro et al., 2015, pp

.56-57). Este modelo permite determinar la radiación directa en superficie horizontal considerando diferentes índices de nubosidad descritas por:

$$\lambda = v/cI_{DH} = [09662(Bo)(\tau_{pr})] \sin A \left(\frac{W}{m^2}\right) \quad (1. 27)$$

En donde:

τ_{pr} : se trata de la transmitancia promedio o también conocido coeficiente de transmitancia por dispersión producidas por las moléculas de la atmósfera.

Bo: es la constante solar entonces **0,9662**: describe el factor de corrección del intervalo de longitud de onda donde se concentra el 96% de la radiación.

A: representa la altitud solar.

Ecuación para la radiación difusa

La radiación difusa parte de la concentración de los componentes atmosféricos moleculares y también del índice de claridad del cielo (k_d) por lo tanto para una superficie horizontal se expresa de la siguiente manera:

$$I_{DH} = [(Bo)K_d] \sin A \quad (1. 28)$$

Por otra parte la radiación difusa total se la interpreta como suma de tres contribuciones diferentes: radiación difusa debida a la existencia de moléculas de aire, radiación difusa debida a la existencia de partículas de aerosoles y radiación difusa por múltiple reflexión entre el suelo y la atmósfera (Vanegas Chamorro et al., 2015, p.4); expresada de la siguiente manera:

$$I_{dH} = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad (1. 29)$$

1.5.5.3. Atenuación de la radiación solar por la atmósfera

Absorción

Es sabido que la energía radiante se debilita al atravesar medios materiales, si tomamos en cuenta la atmósfera, dichas partículas tienden a ser atenuadas por lo tanto el poder transmisor depende de la naturaleza del medio y también de la longitud del camino recorrido de la oem. El carácter

de opacidad atmosférica considera tres tipos de agentes absorbentes: Absorción debida al Ozono ionosférico, Absorción debida a gases absorbentes como el Oxígeno (O_2) y Óxido de nitrógeno (NO) absorben radiación de longitudes de onda entre $0,12\mu-0,18\mu$, el Ozono (O_3) absorbe radiaciones entre $0,2\mu-0,36\mu$; mientras que el Dióxido de carbono (CO_2) absorbe radiación entre $13,1\mu-16,9\mu$ y el Absorción debida al vapor de agua que absorbe radiación $5,3\mu-7,7\mu$ (Delgado Orellana et al., 2015, p.24).

Dispersión

- **Dispersión Rayleigh**, se debe a la intensidad de luz dispersada por las moléculas de aire en donde la longitud de onda es mayor que la partícula incidente, donde al espectador le llega más intensidad del espectro visible en gama de los azules que las infrarrojas (Nimbus, 2002, p.1).
- **Dispersión de Mie**, se describe como las moléculas o partículas grandes donde la luz es dispersada, generalmente, en la misma dirección de incidencia; tal que, la molécula en suspensión tiende a dispersar la luz en la misma dirección en la que incido (Nimbus, 2002, p.2).

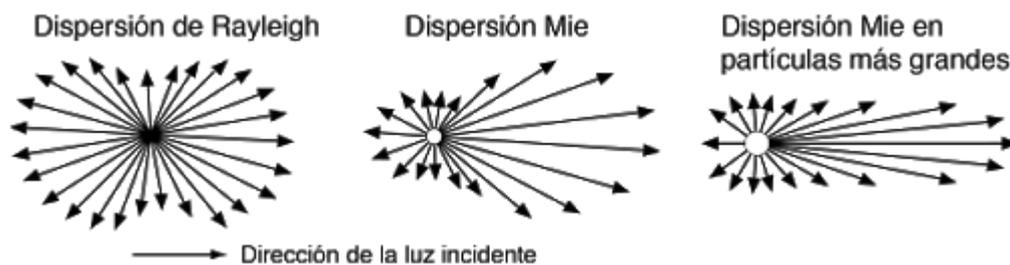


Figura 14-1. Representación de tipos de dispersión Rayleigh y mie respecto a la dirección de la luz.

Realizado por: hyperfisc, 2021.

1.5.6. Radiación solar en la República del Ecuador

1.5.6.1. Introducción

Según CONELEC (2008, p.6), la radiación solar en Ecuador se ve involucrada directamente por la cantidad de nubosidad; razón este motivo los niveles de irradiación son bajos en algunas zonas del país. Por tal motivo la referencia de irradiación solar en las zonas representa un constante monitoreo con la necesidad de instalar medidores que ayude a obtener datos.

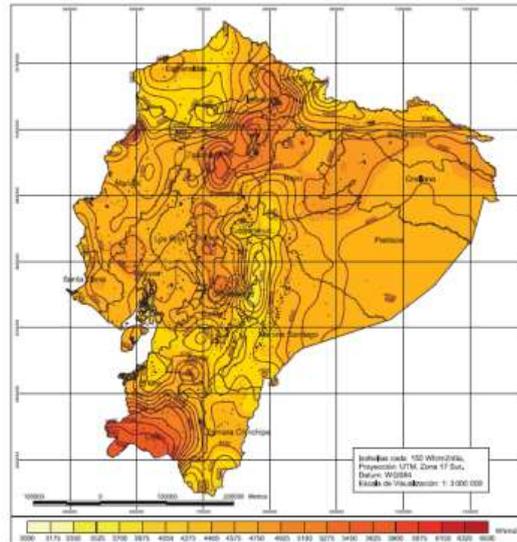


Figura 15-1. Mapa solar del Ecuador

Realizado por: CONELEC, 2008.

1.5.6.2. Radiación Solar en Regiones del Ecuador

En la actualidad de los varios estudios locales referentes con el uso de la energía solar toman en consideración que; en la franja ecuatorial la capa de ozono se debilita por el exceso de gases causantes del efecto invernadero. Se debe tener en cuenta que el Ecuador tiene la radiación más alta del planeta la misma que afecta a Perú y Colombia, esta noticia es emitida por EXA, la mencionada agencia posee instalaciones de monitoreo en ciudades importantes como son Quito, Guayaquil, Playas y Cuenca (AGENCIA ESPACIAL CIVIL ECUATORIANA, 2007: 1A).

1.5.6.3. Análisis de la radiación solar debido a las características topográficas

Es muy importante contemplar los datos geográficos a partir de sus relaciones topológicas como concepto fundamental en un SIG (Rodríguez Morea et al., 2018, p.13). Donde el análisis topográfico de radiación en el Ecuador está determinado por sus regiones como son: Sierra, Costa, Insular y Amazónica.

Región Sierra (Interandina)

Tendremos un periodo por lo general primeros 6 meses del año, la radiación se mantiene en 4.4 Kwh/m²-día, mientras que en el siguiente la radiación se incrementa llegando hasta 4.8 Kwh/m²-día, posteriormente promedio anual de radiación para esta región es de aproximadamente de 4.5 Kwh/m²día (Ministerio de Energía y Minas citado en Álvarez Hernandez et al., 2014).

Región Costa (Litoral)

Mencionemos los meses con la máxima radiación; marzo y abril 4.2 Kwh/m²-día y si seguimos con junio y julio se tiene los menores valores de radiación, alrededor de 3.2 Kwh/m²-día, un promedio anual de 3.5 Kwh/m²-día.

Región insular

Una de las regiones con mayor radiación en los meses de febrero a mayo, es la insular con una radiación de 5.2 Kwh/m²-día debido a la poca nubosidad en algunas zonas y menor radiación en el resto del año con una media anual de 4.5 Kwh/m²-día (Ministerio de Energía y Minas citado en Álvarez Hernandez et al., 2014).

Región amazónica

En la Amazonía se presenta la más baja radiación de enero a junio con valores de 3.5 Kwh/m²-día generalmente por su baja altitud, humedad y mayor cantidad de partículas de agua en su ambiente, en los siguientes meses agosto a noviembre se tiene valores de radiación de 4.2 Kwh/m²-día; representando una media anual de alrededor de 3.8 Kwh/m²-día (Ministerio de Energía y Minas citado en Álvarez Hernandez et al., 2014)

1.5.6.4. Método de obtención de los valores de radiación en el Ecuador

Para una futura búsqueda de información Vaca (2018, p.7), enfatiza que los datos satelitales para Ecuador se encuentran disponibles por parte de la NASA Surface meteorology and solar energy, global solar atlas y 1998-2015 NSRDB del NREL. Otra manera de obtención de datos más utilizados o la información base muy confiable para la implementación de múltiples proyectos fotovoltaicos, es el ATLAS SOLAR del Ecuador, que se ha considerado el más importante para la realización de dichos proyectos. La información que se utilizó para el desarrollo del Atlas Solar toma de referencia el NREL de los Estados Unidos, cuyas acciones están orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética. Por parte a cargo del NREL se desarrolló el modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model), que dispone conocer el flujo solar diario total sobre una superficie en áreas de aproximadamente 40 km x 40 km en todo el mundo, dichos resultados han sido validados por medio de la medición de datos realizados por estaciones ubicadas en diferentes partes del mundo; deduciendo que el error de los datos es del 10%. Para lo cual la información toma de referencia a los gases, vapor de agua atmosférico, nubosidad y cantidad de aerosoles (Revelo Vaca et al., 2019, pp.5-7)

1.5.7. Métodos Teóricos para la obtención de radiación UV

De varios métodos utilizados para la obtención de radiación solar en los países sudamericanos más concreto en Colombia y Ecuador los métodos de Método de Hottel para días claros y Modelo de PVGIS, surgiendo como bases para la investigación con fines energéticos.

1.5.7.1. Método de Hottel para días claros

El modelo de Hottel es usado para el cálculo de la transmitancia que se origina en la atmósfera para la radiación directa, en función del ángulo cenital (θ_z), por lo cual habrá mayor transmitancia en dirección vertical y menor hacia el horizonte respecto a de la altura sobre el nivel del mar; entonces habrá mayor transmitancia a mayor altura y dependerá del tipo de clima (Molina et al., 2017, p.3); representada por:

$$tb = ao + a1 * e(-k/cos(\theta_z),) \quad (1. 30)$$

Donde ao , $a1$ y k son parámetros ajustados empíricamente. Para encontrar el valor de estas cantidades usaremos las siguientes ecuaciones:

$$a_0 = r_0[0,4237 - 0,00821(6 - A)^2] \quad (1. 31)$$

$$a_1 = r_1[0,5055 + 0,00595(6,5 - A)^2] \quad (1. 32)$$

$$k = r_k[0,2711 + 0,01858(2,5 - A)^2] \quad (1. 33)$$

Los valores de r_0 , r_1 y r_k están dados en la Tabla 2-1., para distintos tipos de clima. Para estimar la irradiación difusa, sobre superficie horizontal, la correspondiente transmitancia está dada por una expresión debida a (Álvarez Hernández et al.,2014, p.4). Donde:

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939\tau_b \quad (1. 34)$$

Tabla 2-1: Factores de corrección para algunos tipos de climas.

Tipo de clima	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Verano, latitud media	0,97	0,99	1,02
Verano, sub-ártico	0,99	0,99	1,01

Invierno, latitud media	1,03	1,01	1,00
--------------------------------	------	------	------

Fuente: (Álvarez Hernández et al., 2014, p.4)

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que para cada día del año y en determinado punto de la tierra saber cómo influye la variación anual de la distancia tierra y sol mediante flujo de la radiación extraterrestre, con relación a la constante solar.

1.5.7.2. Modelo teórico de PVGIS para días claro

En Ecuador el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS), propone lo siguiente: Primero, interacción de la radiación solar con la superficie y la atmósfera viene determinada por tres tipos de factores que poseen estas características para el desarrollo del modelo. Mediante que la atmósfera tiene relación con la geometría de la tierra, revolución y rotación declinación, latitud, hora solar, ángulo solar que determina la radiación extraterrestre disponible. El otro factor es el terreno que toma en cuenta la elevación sobre el nivel del mar. Por último, la atenuación atmosférica, que cuenta con valores con estimación según el índice de turbidez de Linke.

Las fórmulas necesarias para cada factor ya mencionado son:

Declinación solar, La declinación δ en radianes, se calcula, según:

$$\delta = \sin^{-1} \left[0,3978 * \sin \left(\frac{2 * \pi * n}{365,25} - 1,4 + 0,0355 * \sin \left(\frac{2 * \pi * n}{365,25} - 0,0489 \right) \right) \right] \quad (1.35)$$

Altura solar, se refiere a la altura angular del sol sobre el horizonte del observador posee un valor de 0 en la salida y puesta del sol y un máximo a medio día.

$$\alpha = \sin^{-1} (C31 * \cos(T) + C33) \quad (1.36)$$

Hora solar (T), Hora local del sector en formato de 24 horas

$$T = \pi 12 (t - 12) \quad (1.37)$$

Parámetros, se designa a la variable omega (ω) corresponde a la latitud del sector en radianes

$$C13 = -\cos(T) * \sin(\delta) \quad (1.38)$$

$$C11 = \sin(\omega) * \cos(\delta) \quad (1.39)$$

$$C22 = \cos(\delta) \quad (1.40)$$

$$C31 = \cos(\omega) * \cos(\delta) \quad (1.41)$$

$$C33 = \sin(\omega) * \sin(\delta) \quad (1.42)$$

Acimut solar (γ_s), es la proyección del sol sobre una superficie horizontal.

$$\text{Cos}(\gamma_s) = \frac{(C11 * \cos(T) + C13)}{\sqrt{[(C22 * \sin T)^2 + (C11 * \cos(T) + C13)^2]}} \quad (1.43)$$

Radiación solar extraterrestre

Fuera de la atmósfera, la radiación directa se conoce como la **Bo** y tiene un valor de 1367 W/m² ya antes mencionado. Como la órbita terrestre es ligeramente parabólica, la distancia entre el Sol y la Tierra no es fija y cambia durante el año. Por tal razón es necesario aplicar un factor de corrección, que va a depender del día del año, el cálculo de la radiación extraterrestre G_o para este método es:

$$G_o = G_{sc} (1 + 0,03344 (2 * \pi * n / 365,25 - 0,048869)) \quad (1.44)$$

El radio de incidencia normal del rayo solar B_{oc} está dado por la siguiente ecuación:

$$B_{oc} = G_o * e^{-0,8662 * T_{lk} * m * dr(m)} \quad (1.45)$$

Este tipo de factor tiene elaborado una tabla que expresa el número de atmósferas limpias y secas atravesadas por el rayo solar, en el caso de desconocer la turbidez en dependencia del tipo de aire.

Tabla 3-1: Factor de índice de turbidez de Linke aplicado al tipo de atmósfera.

Tipo	Valor
Aire frío muy limpio	2
Aire cálido húmedo	4-6
Aire limpio cálido	3
Aire contaminado	Mayor que 6

Fuente: Fuente: (Álvarez Hernández et al.,2014).

1.5.8. Características geográficas y topológicas del cantón Guano

En el centro del callejón interandino del Ecuador para ser más exactos en la provincia de Chimborazo se encuentra el cantón Guano que cuenta con una población total de 42.851 según el último censo del 2010 distribuido en 22.356 mujeres y 20.495 hombres respectivamente en sus nueve parroquias rurales y dos urbanas que conforman la ciudad de Guano, A demás, este cantón posee irregularidades geográficas las cuales le confieren una serie de microclimas en su distribución superficial de 473,3 Km² que representa el 7% del territorio provincial (Pulgar Alvear, 2015, p.16).

Para detallar a profundidad características geográficas y topológicas del cantón Guano en el anexo F se encontrará mucha información recopilada por parte de diferentes fuentes tanto por los gads que conforman las parroquias y por estudios realizados además se detallara los microclimas en las diferentes alturas correspondientes.

Tabla 4-1: Características geográficas generales del cantón Guano con datos de ubicación, límites, altitud, clima y temperatura.



Realizado por: Pulgar Alvear, 2015.

Ubicación El cantón Guano se localiza, al norte de la provincia de Chimborazo, entre las coordenadas 01°36'10" de grados de latitud sur, 81° de latitud oeste, 0°6'30" del meridiano Ecuatorial, 0°11'30" de latitud occidental, cuenta con una superficie de 473,3 Km².

Límites

- Al Norte:** limita con la provincia de Tungurahua, la montaña del Igualata, el río Huahua Yacu y el río Mocha.
- Al Este:** limita con el río Chambo y el cantón Penipe.
- Al Sur:** limita con el cantón Riobamba y la quebrada las Abras.
- Al Oeste:** limita con la Provincia de Bolívar y el cantón Riobamba.

Altitud	La altitud del cantón Guano varía desde los 2.530 msnm en la parroquia urbana “El Rosario”, hasta los 6.310 msnm en lo alto de imponente nevado Chimborazo.
Clima	El cantón Guano posee una variedad de microclimas que van desde el templado con estaciones marcadas: seca, lluviosa, hasta el verano y frío.
Temperatura	El valor más bajo es de 3.6°C descartando las temperaturas congelantes del Chimborazo, la temperatura más alta es de 28.3 °C, la temperatura media oscila entre los 13 °C y 18 °C.

Fuente: (Pulgar Alvear, 2015).

Realizado por: Trujillo, Willian. 2021.

1.5.9. Bases para la simulación

1.5.9.1. Generalidades

La ecuación de transferencia o intercambio radiactivo (ETR) es una ecuación diferencial que describe la evolución de la radiancia de los flujos difusos según las diferentes direcciones del espacio, teniendo en cuenta las propiedades del medio de propagación; se imponen como condiciones límite para su solución las radiancias de las fuentes, primarias o secundarias, que son exteriores al medio. Aunque aplicable en numerosos campos, no se conocen soluciones puramente analíticas.

En el caso de flujos solares que son los de nuestro interés, la atmósfera es considerada como un medio semitransparente en el cual no se propagan más que radiaciones de corta longitud de onda, y por tanto no comportan fuentes primarias (necesariamente infrarrojas). Con el fin de comprender mejor los mecanismos físicos regidos por la ETR, debemos proponemos establecer esta ecuación a partir de consideraciones radiométricas que nos son habituales, en las condiciones de régimen permanente.

1.5.9.2. Modelo transferencia radiativa

Se lo describe como los métodos para el cálculo de la energía radiante, mediante determinados parámetros atmosféricos (Petazzi et al., 2015, p.3); logrando formular la ecuación de transferencia radiativa (ETR) obtenida a partir de la ecuación de transporte de Boltzmann que es aproximada por diferencias finitas, elementos finitos, volúmenes finitos, etc.

Según Molina se lo interpreta como:

Un modelo de transferencia radiativa es un conjunto de ecuaciones que considera todas las interacciones que tiene un rayo de luz proveniente del sol con los distintos componentes de la atmósfera separando la radiación del sol en 8 bandas espectrales y considera las interacciones de la atmósfera con la radiación en cada banda de forma independiente (Molina Monje, 2017, p.5).

1.5.9.3. La ETR para el cálculo de la radiancia

Para los el proceso de fenómenos de absorción, dispersión y emisión para la radiación que atraviesa en un medio está descrita por la ETR en forma de ecuación diferencial lineal en caso de absorción y para medios dispersivos se trata de una ecuación diferencial no lineal (Berrocal Tito et al., 2010, p.2); la ETR se describe de la siguiente manera:

$$\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial t} I + \widehat{\Omega} * \nabla I + \vartheta_t I = Q \quad (1.46)$$

Donde

$$Q = \int_{\Omega} \int_0^{\infty} \vartheta_s I dE' d\Omega + s \quad (1.47)$$

$$I = I(r, E, \widehat{\Omega}, t) \quad (1.48)$$

$$\sigma_t = \sigma_t(r, E, \widehat{\Omega}, t) ; \sigma_t = \sigma_s(r, E' \rightarrow E, \widehat{\Omega}, t) \quad (1.49)$$

1.5.10. El código LOWTRAN

Una de las bases de datos de muchos países están referenciados código LOWTRAN elaborado por el Laboratorio de Geofísica de la Armada de los Estados Unidos publicado en 1972, es un algoritmo mediante el cual se calcula la transmitancia de la atmósfera de una partícula del estrecho de banda en un trayecto cualquiera procurando no exceder los cientos de kilómetros (Cachorro Revilla, 2008, p.203).

1.5.11. Método Monte Carlo

1.5.10.1. Introducción

En la investigación una de las piezas claves es la experimentación logrando obtener valiosos resultados he aquí un inconveniente; por lo general el presupuesto económico es uno de los

limitantes más grandes para un investigador. El surgimiento y búsqueda de nuevos métodos que logren acortar dicha desventaja aparece el método Monte Carlo logrando hacer posible la experimentación mediante simulación que se acercan de una manera única a los sucesos reales basado en el azar se mantiene como pieza clave de muchos experimentos a gran escala en la actualidad.

1.5.10.2. Historia del método de Monte Carlo

El método de Monte Carlo (también llamado simulación de Monte Carlo) es atribuido a Stanislaw Ulam y John Vann Neumann en la década de 1940. El concepto general del método de estudio de la bomba atómica por segunda vez Guerra Mundial. El nombre "Monte Carlo" proviene de Mónaco y se llama la capital. Juegos de azar, porque los juegos de ruleta se consideran los primeros generadores de números aleatorios (González Dan, 2015, p.29).

Otra base histórica atribuye al método Monte Carlo con origen en el Laboratorio Nacional de los Álamos como desarrollo de tecnología militar, para lo cual se usan nombres clave por lo cual a Nicolas Metrópolis se le ocurrió este nombre relacionándolo con los juegos de azar. En la actualidad, el método de Monte Carlo se utiliza a veces para analizar problemas en los que no existe un componente aleatorio claro. En estos casos, el parámetro determinista del problema se expresa como una distribución aleatoria y la distribución se simula. Otros de sus usos son para resolver integrales que no se podían resolver analíticamente, y se utilizaron números aleatorios para resolver estas integrales. Posteriormente, se utilizó en cualquier esquema que utilizara números aleatorios y variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas (González Dan, 2015, pp.29-30)

1.5.10.3. Definiciones y Características

Definición

Podemos definir el método Monte Carlo como una técnica numérica para calcular probabilidades u otras cantidades usando secuencia de números aleatorios (Ross, 1999, p.218).

Otra definición según Meri y Zundr describen como una técnica de simulación numérica que sirve para generar variables aleatorias y evaluar la incertidumbre en sistemas complejos en diferentes campos de las ciencias.(González Dan, 2015, p.30).

Características

Se puede decir que parte de la generación de números aleatorios por el método de Transformación Inversa, la cual fomenta las distribuciones acumuladas de frecuencias; además presenta una

uniformidad en un rango específico (0,1) y se puede analizar el tamaño de distintos tipos de muestra (Facultad de Ciencias Exactas Universidad Nacional del Centro de la Picia de Buenos Aires, 2005, p.5).

Debe cumplir con el rol aleatorio en el caso de pruebas de acuerdo con la hipótesis de la cual obtendrá la muestra que servirá como objeto para analizar de acuerdo con un periodo de tiempo esto intuye que tiene una correlación con el tiempo. Por lo tanto, la simulación tendrá una respuesta muy compleja donde puede ser expresada explícitamente sólo por el propio programa informático que se esté usando (Losilla Vidal, 1994, p.6).

1.5.12. Monte Carlo y la teoría de elementos de probabilidad

Una característica fundamental del método Monte Carlo es combinar conceptos estadísticos como cálculo de números aleatorios. Convirtiéndose en un proceso matemático que relaciona la generación numérica de la secuencia mediante un muestreo aleatorio de la distribución de probabilidad por lo cual hay que tener en cuenta las denominadas variables aleatorias, donde toda variable aleatoria posee una distribución de probabilidad que describe su comportamiento (González Dan, 2015, p.125).

Se entiende como una variable aleatoria a cualquier variable x a quien se le designe un conjunto de valores $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}\}$ con probabilidades $\{p_0, p_1, p_2, \dots, p_{n-1}\}$. Por lo tanto según González Dan (2015, p.125) enfatiza que un problema crucial de la aplicación del método de Monte Carlo es encontrar los valores de una variable aleatoria con su respectiva distribución de probabilidad dada por la función $P(s)$ pariendo de los valores de una variable aleatoria idénticamente distribuida en el intervalo $[0,1)$, generalmente producida por algún generador de números aleatorios. Dichas variables pueden ser discretas, continuas y paramétricas, las discretas solo puede tomar un valor finito de entre un conjunto de valores, cada uno de los cuales tiene asignada su determinada probabilidad, por otra parte las variables continuas puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo determinado y por último las paramétricas que se ajustan a la descripción matemática de una serie de procesos aleatorios que se rigen con determinados supuestos teórico y no generan relación intuitiva con la representación de la distribución.

La distribución de probabilidad describe la manera en que varían los resultados de un experimento aleatorio se debe tener en cuenta que se trata de un modelo teórico, es decir, nos mostrara todos los posibles probabilidades de que suceda dicho evento arrojando resultados (Campos, 2016, pp. 1-5); para el caso discreto se puede representar la función distribución como:

$$F(x) = p[x \leq x] = \sum_{x_i \leq x} p_i \quad (1.50)$$

Donde $F(x): \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$. De igual manera podemos representar la función distribución para el caso de variables continuas con su respectiva función de densidad $f(x)$ a partir de la siguiente manera:

$$F(x) = P[x \leq x] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \quad (1.51)$$

Por lo tanto, en caso de ser una variable discreta se la tomara como una sumatoria y si es continua como una integral.

Varianza de una variable aleatoria

A continuación, proseguimos a definir la varianza de una variable aleatoria comparando tanto para el caso discreto como el continuo. Determinada por una variable aleatoria X que adquiere valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ con una distribución de probabilidad, por lo tanto (Campos, 2016, pp.6-13). se define la varianza de X :

- Caso discreto

$$v[x] = (x - E(x))^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - u)^2 = \sum_{i=1}^n x^2 P_i - u^2 \quad (1.52)$$

- Caso continuo

$$v[x] = \int_{-\infty}^{\infty} (x_i - u)^2 f(x) dx \quad (1.53)$$

Método de Transformación Inversa

El algoritmo Monte Carlo Crudo o Puro está fundamentado en la generación de números aleatorios propuestos por una transformada inversa, la cual se fundamenta en las distribuciones acumuladas de frecuencias $p(x)$;

$$P(x) = \int_{x_{min}}^{x_{max}} (P x') dx' \quad (1.54)$$

Tomemos en cuenta que esta función no es decreciente de modo que los valores de x está en un rango desde $P(x_{mim}) = 0$ a $P(x_{max}) = 1$. De esta manera, la función cuenta con su inversa $P^{-1}(\xi)$. Dicha transformación de $\xi = P(x)$, proporciona una nueva variable aleatoria en el rango $(0,1)$. Apareciendo una nueva relación por correspondencia entre los valores de x y ξ , descrita de la siguiente manera $p_{\xi}(\xi)d\xi = p(x)dx$ (Salvat, 2019, p.9). Entonces:

$$p_{\xi}(\xi) = p(x) \left(\frac{d\xi}{dx} \right)^{-1} = p(x) \left(\frac{P(x)}{dx} \right)^{-1} = 1 \quad (1.55)$$

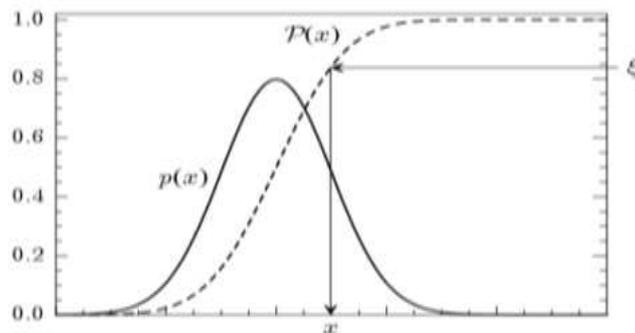


Figura 16-1. Muestreo aleatorio de una distribución $p(x)$, del método de la transformación inversa.

Realizado por: Salvat, 2021.

En la figura 17-1 se muestra un número aleatorio, x es la variable determinada por $x = P^{-1}(\xi)$ la cual representa una distribución aleatoria en el intervalo (x_{mim}, x_{max}) con la FDP $p(x)$. Por tal motivo la función inversa garantiza que el método es factible para producir variables aleatorias x manejando un modelador de números aleatorios distribuidos uniformemente en el rango $(0,1)$, garantizado por la aleatoriedad de ξ (Salvat, 2019, p.9).

$$\xi = \int_m^m p(x') dx' \quad (1.56)$$

1.5.12.1. Generación de números pseudoaleatorios

La generación de números pseudoaleatorios donde principal función es remplazar a los números aleatorios con la necesidad de generar la secuencia aleatoria inicial, entre la medición de fenómeno físicos en la cual cada número aleatorio debe ser totalmente independiente con relación

con los números que presenta nuestra secuencia, por otra parte, en el caso de tener dos generadores aleatorios que no dependan de ellos nos arrojaran como respuesta el mismo resultado. De tal manera el número pseudoaleatorio se obtiene a través de un algoritmo. Al hablar de simulación se usa modelos matemáticos que generan secuencias aleatorias eliminando altos costos de experimentación un ejemplo los datos de interacción partículas en la materia se deben revisar correctamente los eventos (Rivas Párraga et al., 2016, pp.11-12), por esta razón el algoritmo debe generar números realmente aleatorio.

1.5.12.2. Características de los números pseudoaleatorios

Las características más comunes de los números pseudoaleatorios que inducen a los generadores de números aleatorios son las siguientes:

- **Distribución**, se entiende que dichos números obtenidos estén distribuidos uniformemente en el intervalo [0, 1], lo que permite una manera más fácil de generarlos, presentando, además una ventaja de poder transformarlos en valores de una u otra distribución.
- **Coefficiente de correlación (r)**, es una prueba de relación lineal entre el valor calculado y el valor medido. Definido por

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\left\{ \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (1.57)$$

En el cual \bar{y} es el valor promedio predicho y \bar{x} es el valor promedio medido, lo ideal es que “r” sea igual a 1

- **Generación mediante un algoritmo**, al lograr generarlos se obtiene un número finito de números antes de volver a repetirse por completo por lo cual se involucra directamente con un algoritmo definido (Eugenio, 2008, p.22).

1.5.12.3. Las leyes de probabilidad que gobiernan las trayectorias de los fotones

Esencialmente todos los procesos que involucran la transmisión de partículas son aleatorios, es decir, es imposible predecir qué tipo de interacción ocurrirá en cada momento y lugar, pero solo se puede asignar una probabilidad a cada posible evento. Tomando en cuenta que, se conoce la distribución de probabilidad que describe el comportamiento del sistema que estamos estudiando; se procede a modelar cada evento de una variable aleatoria a su vez se describe una función de densidad de probabilidad.

Debido a su absorción o retorno al espacio exterior, los fotones solares describirán una trayectoria que consta de un solo segmento de línea o múltiples segmentos de línea que forman una línea

discontinua ya sea este último caso, cada segmento corresponde a una desviación, que puede deberse a la difusión de moléculas o aerosoles, o puede deberse a reflejos en el suelo. Por consiguiente, la amplitud y el proceso que se debe conocer para determinar por completo la trayectoria de un fotón (Cachorro Revilla, 2008, p.205). Se puede resumir de la siguiente manera:

Al tener la longitud de cada trayectoria en forma rectilínea, la ocurrencia, sea por el proceso de difusión o absorción, al final de cada trayecto antes mencionado no lograra alcanzar el suelo y tendremos dos ángulos que hacen referencia a la reflexión del suelo.

1.5.13. Programa MATLAB

1.5.13.1. Introducción

Una de las herramientas de cómputo en el área de cálculo por ordenador es Matlab, convirtiendo la investigación, métodos y cálculos: de una forma monótona a más dinámica resolviendo problemas matemáticos, de igual manera que Maple, Scilab y Mathematica, Matlab cuenta con su propio lenguaje de alto nivel; en la actualidad se maneja con ficheros que pueden servir de intercambio con otros programas, algo que difiere a Matlab es el modo en que maneja sus cálculos simbólicos en el caso de procesos matemáticos que son de mayor complejidad, se puede decir que Matlab es un programa diseñado esencialmente para matrices de ahí su nombre o acrónimo “Matrix laboratory” y que abarca programas para realizar simulación mediante una interfaz gráfica denominada Simulink; haciendo de Matlab una manera más entretenida para los amantes a la programación sus aplicaciones han ido a la par con diferentes proyectos.

1.5.13.2. Definición de Matlab

Según Losilla Vidal (1994, p.85); lo define como es una plataforma de programación que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio llamado lenguaje M. De igual manera se puede definir a MATLAB un programa dinámico para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices mediante un entorno integrado.

1.5.13.3. Características de Matlab

MATLAB usa un lenguaje sencillo pero potente por lo que tendrá una serie de características que lo diferencie de los demás programas. A continuación se mostrará una serie de características propias de su ambiente (Holly Moore, 2010, p.1).

Ambiente MATLAB

Una vez sea instalado MATLAB depende de su sistema operativo y del procesador de la computadora, MATLAB presenta una ventana de comandos, permitiéndonos realizar ella cálculos en forma similar a como lo hace en una calculadora científica hasta un proceso matemático muy complejo (Holly Moore, 2010, p.9). Además, debemos tomar en cuenta que sus graficas de visualización son avanzadas, el lenguaje se ha basado para vectores y matrices en un alto nivel por poseer funciones de aplicación muy útil.

1.5.13.4. El entorno de MATLAB

El entorno o conjunto de herramientas que permite la interacción usuario con el programa para la realización de un trabajo. Permiten importar, procesar y exportar datos; crear y modificar archivos; generar gráficos y animaciones; y desarrollar aplicaciones de usuario. El entorno MATLAB incluye ventanas, variables y archivos; También hay específicas ventanas correspondientes a buscar ayuda.

Variables, se refiere a los objetos temporales al cerrar el MATLAB se borran y durante el transcurso del curso se guardan en el llamado workspace.

Ficheros, se trata de objetos permanentes por lo cual no se borran al cerrar el programa. Una parte de los ficheros son los que conforman el núcleo básico del propio programa, los otros son los ficheros creados por el usuario y los ficheros correspondientes a las librerías.

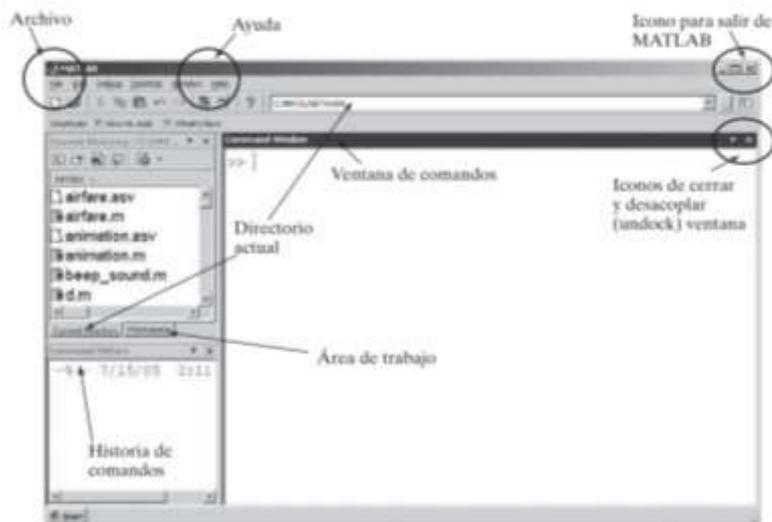


Figura 17-1. Ventana de apertura de MATLAB.

Realizado por: Markwork, 2015.

1.5.13.5. MATLAB como plataforma para simulación en estadística

Dentro de varios programas presentes en la actualidad al escoger a MATLAB como un programa para desarrollo de simulación. Mencionaremos que cumple la totalidad de los requisitos para realizar gran parte de experimentos de simulación por Monte Carlo con gran precisión y eficiencia de manera que puede ser visualizada al utilizar un gran número de algoritmos presentes en sus funciones matemáticas. En este sentido, debemos resaltar sus características más sobresalientes como es su capacidad para dimensionar las matrices de datos, lo cual permite trabajar de una manera sencilla y rápida. Además, en la actualidad su entorno se ha expandido a muchos sistemas operativos esto significa que lo hacen idóneo para la investigación (Losilla Vidal, 1994, p.84).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de la Investigación

En la presente investigación se utilizará método cuantitativo, los objetivos de investigación se realiza mediante recopilación de datos por variables de carácter numérico por cual se tratará de un tipo de investigación descriptiva, obteniendo la información de manera deductiva, proceso que nos permitirá comparar nuestros resultados con los existente por el INAMHI logrando interpretar la información por zonas de igual características. Además, esta investigación es explorativa y se la realizará en un periodo consecutivo sin cortes en el estudio.

Investigación explorativa: Al realizar la búsqueda de información respecto a la radiación UVA-UVB en nuestra zona de estudio tanto local como regional nos arroja una carencia, desde luego se busca obtener los datos tanto para los índices como para la radiación solar y que se los compare.

2.2. Diseño de la Investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que manipulamos datos mediante simulación de manera que podemos experimentar los diferentes sucesos de acuerdo con las variables propuestas y adquiridas, para lograr encontrar una distribución de probabilidad y lograr obtener una reducción de incertidumbre probabilística por método aplicado por lo cual es factible dirigirnos por un diseño experimental. Una vez explicado nuestro diseño debemos tomar en cuenta las diferentes actividades como son:

ESTUDIO A PROFUNDO TEMAS RELACIONADOS CON MÉTODOS MÁS USADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SALAR.

- Culminada esta actividad debemos buscar los datos relacionados a nuestro sitio de estudio por lo cual pasaremos a la siguiente actividad que se desglosa en otras actividades más específicas.

PROPONER UN RANGO DE TOMA DE DATOS EN UN TIEMPO DETERMINADO PARA CARACTERIZAR SU INFORMACIÓN.

- Solicitar los datos de la estación Riobamba – ESPOCH por parte de INAMHI, de los meses enero – febrero de 2021.
- Clasificación de los datos de los mencionados meses y agruparlos por horas para ellos nos valdremos en la necesidad de usar una hoja de Excel.

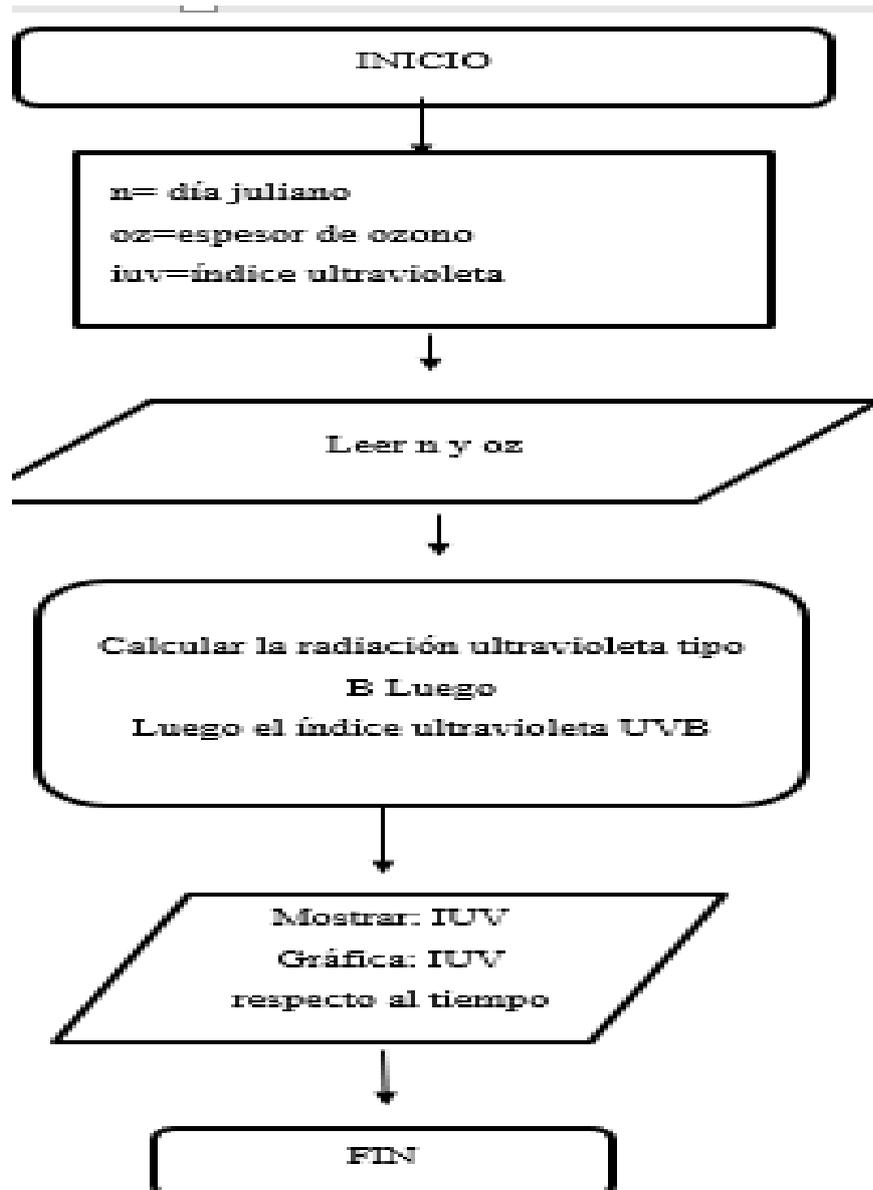
- Proseguimos con un análisis estadístico enfatizando en la descripción de cada tipo de radiación ultravioleta registrada analizando cada factor que influye.
- Exportaremos los datos a nuestro software elegido en este caso MATLAB para obtener gráficas del comportamiento de la radiación ultravioleta y con la noción de guardarlos para proseguir con las comparaciones.
- Observar y analizar la radiación ultravioleta tipo A prosiguiendo después con el tipo B para ello nos valdremos de tablas de frecuencias, verificando sus valores máximos y mínimos a lo largo de nuestro periodo elegido.

IDEALIZAR EL MODELO MATEMÁTICO PARA LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA TOMANDO EN CUENTA DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN, PROPIOS PARA GUANO.

- Se consideró que la mayor parte de estudios en Sudamérica se basa en métodos para días claros y por las semejanzas de este con el tipo de clima que maneja el cantón Guano, todo esto lo verificamos gracias a la elaboración de nuestro marco teórico y las fuentes relacionadas con nuestro tema.
- Para la construcción de nuestro modelo se prosiguió con el análisis y selección de ecuaciones útiles, sus deducciones más entendibles.
- Para el proceso de programación se tomar en cuenta el uso de los códigos de las ecuaciones para MATLAB, de ese modo formulamos nuestro esquema.
- Al proseguir con los cálculos en el ordenador mediante nuestro método, los datos los procederemos a clasificar para luego hacer las comparaciones.

CONSIDERACIONES POR TOMAR PARA DISEÑAR UN PROGRAMA EJECUTABLE PARA EL CÁLCULO.

- Se debe tener instalado el software MATLAB, y realizar un diagrama de flujo sobre el modelo matemático, se debe tomar en cuenta que nuestro programa influye en la toma de datos que nos servirán para un siguiente análisis más no enfatiza con el tema principal para lo cual sabiendo que solo estamos hablando de un lugar en específico, y como usuario deseo conocer el comportamiento de IUV en un determinado día entonces mi variable principal será el día juliano y el espesor de ozono. Realizando el siguiente diagrama.



Gráfica 1-2. Diagrama de programación en Matlab

Realizado por: Trujillo, Willian.2021.

- Realizar un programa que debe ser de fácil manejo para un usuario común, en donde va a calcular la radiación ultravioleta para cualquier sitio.
- Una vez tomada la información obtenida procedemos a realizar la simulación Monte Carlo generando una distribución de probabilidad partiendo de los factores como el grosor de ozono, altura, nubosidad de esta manera se pueda obtener los máximos y mínimos de manera que se logre interpretar en qué tipo de condiciones la radiación se presente con mayor probabilidad.
- Hay que tomar en cuenta una deducción de incertidumbre para cada caso de acuerdo con la radiación.
- Por último, finalizar se realiza la discusión de lo obtenido con los antecedentes estudiados.

- Realizar la discusión de conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada portando además información de las zonas de mayor incidencia de radiación UV.

2.2.1. Localización del estudio

La presente investigación tiene como punto clave el cantón Guano y las parroquias que lo conforman se realizara las respectivas visitas tratando de cubrir la mayor cantidad de zonas pobladas con toma de datos para hacer comparaciones con los resultados de la simulación, el trabajo se realizara en el presente periodo académico octubre 2020 – marzo 2021.

2.2.2. Población de estudio

Debido a que el cantón Guano presenta una distribución parroquial que a su vez esta conformadas por comunidades situadas en áreas con una altura mayor respecto a cabecera cantonal se realizara la toma de datos por cada parroquia solo para comparación.

2.2.3. Tamaño de la muestra

Como se utilizará una simulación esto implica que a medida que vaya aumenta el tamaño de la muestra, la dispersión es menor, los valores de tasa de radiación muestrales aparecen cada vez más concentrados en torno al verdadero valor de la tasa de radiación. Ello nos indica que cuando por fin se vaya a realizar el muestreo real, cualquiera que sea la muestra particular que obtengamos finalmente, podemos estar bastante seguros de que, si la muestra es lo suficientemente grande, el valor estimado de la tasa de remisión será muy próximo al valor real de dicha tasa, los puntos clave de comparación serán las comunidades con mayor altitud y concentración poblacional mayor.

2.2.4. Método de muestreo

Como se busca aplicar una simulación sé que caracteriza por manejar y aplicar variables al azar es convenientemente aplicar un método de muestreo probabilísticos aleatorio estratificado por el motivo que tendremos subgrupos para el estudio que darán características diferentes para comparar un ejemplo al tener diferencia climática o altitud de zona diferente al momento de realizar el análisis de la radiación.

2.2.5. Técnicas de recolección de datos

Una vez identificados las comunidades se realizará el levantamiento de información de las variables topológicas de cada comunidad con ayuda de fuentes geográfica del cantón Guano luego se procederá al análisis y clasificación de información requerida que no se encuentre en registros de datos de los diferentes Gads del cantón, el modelo matemático permite simular y manipular los datos de manera que la información obtenida sea usada para un lugar en específico de manera que la comunidad pueda darle diferente tipos de uso tanto informativo como preventivo, añadiéndole un valor comparativo y de referencia. En la parte de simulación se trabajará con softwares de conocimiento por parte del estudiante los cuales son Matlab y Excel respectivamente.

2.2.5.1. Análisis Estadístico Inferencial

Debido a la naturaleza de nuestras variables al ser cuantitativas y que incluyen realizar comparaciones entre las variables que componen nuestro estudio y también los resultados basados por parte del INAMHI se realizara unas tes paramétrico donde se adentrara en el estudio del análisis de varianzas de los datos que se obtendrán.

2.2.5.2. Identificaciones variables

Debido a nuestra hipótesis planteada se definen las siguientes variables.

Variables Dependientes:

- Radiación UVA-UVB
- Topología geográfica de la zona
- Tiempo(días)

Variables Independientes:

- Simulación Montecarlo
- Efectos en la salud poblacional

Variables Intervinientes:

- El interés de la población por su salud

2.2.5.3. Planteamiento de la hipótesis

¿La radiación UVA-UVB tendrá un cambio de acuerdo con la variación topológica de una zona específica?

2.2.6. Características de las zonas de medición de referencia.

Tabla 1-2: Zona de referencia San Isidro.

Ubicación	La parroquia de San Isidro de Patulú está situada de acuerdo con las coordenadas Latitud: -1.58333 Longitud: -78.6833
Límites	AL NORTE: La provincia de Tungurahua. AL ESTE: Las parroquias de Santa Fe de Galán, Ilapo, Valparaíso y el cantón Guano. AL SUR: La parroquia San Andrés y el cantón Guano. AL OESTE: La parroquia San Andrés.
Altitud	Su altitud oscila entre 2801 y 4329 m sobre el nivel del mar.
Clima	Su clima es templado y frío en las zonas altas.

Fuente: (Pulgar Alvear, 2015).

Realizado por: Trujillo, Willian. 2021.

2.2.7. Instrumentación para la recolección de datos.

Debido a que la simulación se da en base a un método probabilístico como es Monte Carlo, la instrumentación requerida es la siguiente:

- Una PC para la clasificación de los datos recolectados y se ejecute la simulación.
- Los programas Excel se puede realizar el análisis característico de la radiación UV y como está distribuido en sus dos tipos UVA y UVB.
- Para la simulación utilizaremos el Software Matlab donde se procederá a ejecutar el código fuente para la obtención de datos introduciendo los valores correspondientes a la ecuación 1.15 por el método matemático para la obtención de los datos base de la simulación.
- El sistema de datos como: cantidad de ozono, composición atmosférica se dará mediante la base de datos de la NASA por medio de Internet.
- Debemos considerar también la tabla de Frolich and Wehrlia para irradiación espectral solar extraterrestre correspondiente al anexo A.

- Una vez obtenido los datos procedemos a armar las respectivas tablas de datos con sus valores promedios máximos, encontrar las respectivas distribuciones.
- Trabajaremos en Excel para comenzar a obtener los datos aleatorios partiendo de los valores mínimos y máximos, de manera que estos sirvan como intervalos de referencia para la simulación Monte Carlo.
- Para mi caso el número de interacciones que escogido son de 500 para lo cual se generará una función cuadrática; esta interacción la consideraremos para la radiación UVA hay que aclarar que al utilizar el comando o función aleatorio los datos son tanto positivos como negativos de manera que escogeremos los valores positivos para ello utilizaremos una estimación de área de 1 por 1 en donde introduciremos una nueva función.
- Al saber que la radiación UVB representa el 20% de la radiación UV total que entra a la atmósfera la función que se ingresa se multiplica por dicho valor de manera que encontramos una nueva curva en la cual sus dos intersecciones nos darán una región que represente la probabilidad de encontrar radiación UVA y UVB en nuestra área probabilística.
- Encontraremos las distribuciones tanto para los datos obtenidos teóricamente como los aleatorios para graficarlos y compararlos.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Interpretación de los valores de radiación UVA

Los valores promedios registrados de UVA a partir del 1 de enero hasta el 28 de febrero desde 6:00 am hasta 6:00 pm para lo cual recordaremos que UVA es una clase de energía por lo cual se mediría en W/m²; en nuestro lugar de medición arrojo los siguientes datos:

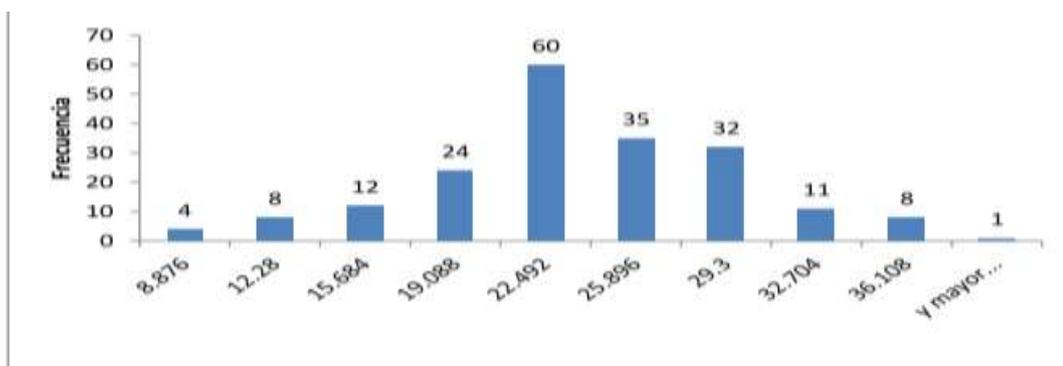
Tabla 1-3: Valores promedios de UVA desde el 1 de enero al 28 de febrero del 2021 en W/m².

n	Enero	Febrero
1	27.108	21.456
2	27.756	19.872
3	25.452	21.096
4	12.906	20.394
5	13.716	20.196
6	18.900	20.682
7	28.404	21.312
8	27.036	21.204
9	25.758	21.654
10	23.130	9.180
11		20.556
12	11.898	21.456
13	18.666	12.96
14	17.676	17.586
15	30.438	19.21
16	26.514	20.052
17	31.842	20.286
18	27.954	20.088

19	22.266	20.232
20	19.314	19.818
21	13.392	19.566
22	22.194	20.232
23	31.464	20.682
24	18.234	20.826
25	16.560	14.850
26	26.532	22.806
27	26.586	19.494
28	11.646	23.400
29	28.458	
30	30.528	
31		
Pr	22.686	19.684

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

Los números resaltados con negrita son el promedio mensual de UVA. La localidad de Guano en su mayoría se ubica en el centro del callejón interandino, por tanto, podríamos esperar que algunos días pudieran estar nublados o parcialmente nublados, para identificar estos días bastara con realizar una gráfica de frecuencias de los valores promedios de UVA, la que tenga mayor frecuencia representara los días claros, los de menor frecuencia los días nublados y los de frecuencia intermedia los días parcialmente nublados. A continuación, se muestra el histograma de frecuencias de UVA registrados desde enero y febrero del 2021.



Gráfica 1-3. Frecuencias de radiación UVA promedios

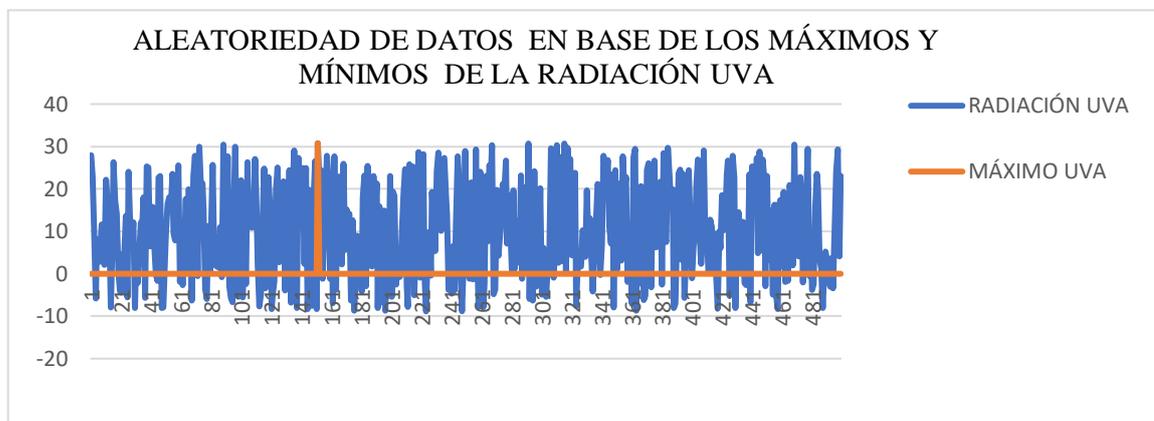
Realizado por: Trujillo, Willian. 2021.

Valores Máximos de UVA

Los valores máximos de la intensidad de radiación solar ultravioleta se dan en horario desde las 10: 00 am hasta la 3: 00 pm, para nuestro caso buscamos el mayor valor registrado de cada día. Entonces luego de clasificar los valores promedios de radiación UVA registrado, se observa en la gráfica 1-3 el valor de 22. 492 W/m² es el más recurrente representando el 30% de los datos registrados se podría esperar que esos días son los más comunes en Guano. Hay 8 días donde aproximadamente la radiación llego a 30.08 W/m² siendo uno de los valores máximos presentados, representando el 4% de los datos registrados.

Gráfica extendida por aleatoriedad en base de máximos y mínimos tomados como rango

Como partimos de la serie de mediciones encontradas por el código de Matlab la figura siguiente muestra los 500 datos aleatorios generados en Excel los que cuentan además con valores negativos.



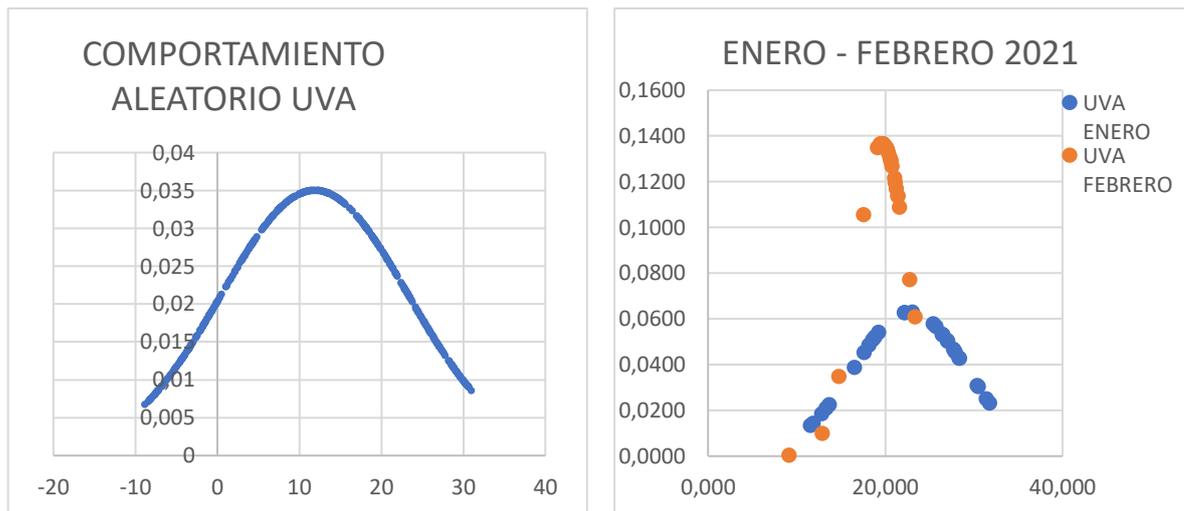
Gráfica 2-3. Comportamiento de la radiación UVA con datos aleatorios.

Realizada por: Trujillo, Willian. 2022.

Interpretación de la gráfica 2-3

Durante la simulación al utilizar un rango de 30.8 W/m² como máximo y 8.8 W/m² como mínimo se puede apreciar valores positivos y negativos de un total de 500 datos aleatorios en donde se puede registrar que los valores máximos que cambia de acuerdo se lleve las interacciones continuamente de manera que puede estar al principio luego en el centro como al final.

Gráfica de distribución referente a la radiación UVA



Gráfica 3-3. Comportamiento de la radiación UVA mediante sus distribuciones.

Realizado por: Trujillo, Willian. 2021.

Como base de nuestro análisis de comparación se puede observar las dos distribuciones en el lado izquierdo se aprecia una campana de gauss bien definida esto se debe a la mayor cantidad de datos presentes por la simulación en comparación con las distribuciones en enero y febrero de manera que tomando una interrogante en la cual queremos saber el porcentaje de cada distribución en el cual su valor de radiación supere los 30 W/m² fue en el caso de la primera distribución 4% en el caso para enero fue de 12,9% y para febrero de un 0,002% demostrando entonces que febrero fue el mes con menor porcentaje de radiación UVA.

3.1.1. Análisis de la radiación UVA

Luego de clasificar los valores promedios de radiación UVA registrado, se observa en la figura 3-3 que la probabilidad de valores mayores a 22 W/m² en el caso aleatorio fue de 22,8%, en el caso de enero y febrero la probabilidad de que los datos tomen ese valor claramente supera el 50% esto quiere decir que los valores negativos de nuestros datos simulados influyen mucho por lo cual se deben tomar solo los positivos.

3.1.2. Interpretación de los valores de radiación UVB

La radiación UVB es la principal componente para determinar el Índice Ultravioleta y a su vez tiene mucha importancia por ser causante del 80 % del daño biológico en la piel humana, cabe resaltar que esta radiación puede actuar sin la necesidad de participar la radiación infrarroja es decir que la radiación UVB puede estar actuando y no sentimos sensación de calor.

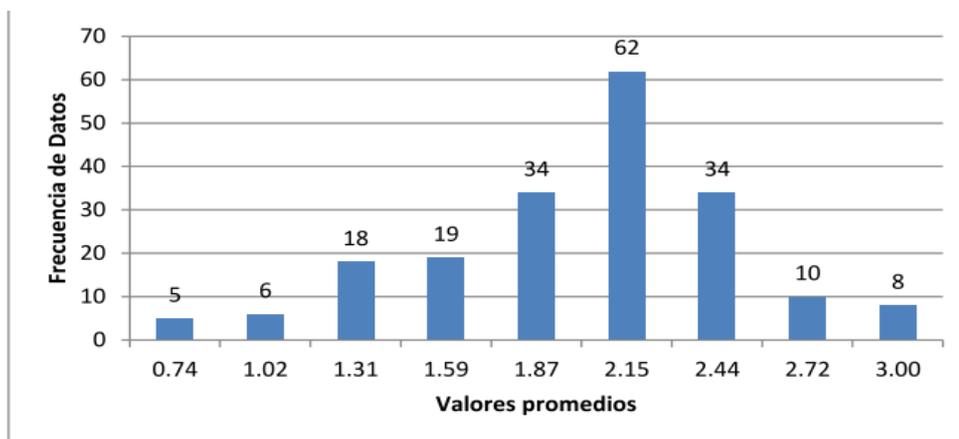
Tabla 2-3: Valores promedios de UVB desde el 1 de enero 28 de febrero del 2021 en W/m².

n	Enero	Febrero
1	2.108	1.456
2	2.756	1.872
3	2.452	1.096
4	1.906	2.394
5	1,716	2.196
6	1.9	2.682
7	2.404	1.312
8	2.036	1.204
9	2.758	1.654
10	2.13	1,8
11		2.556
12	1.898	1.456
13	1.666	1.96
14	1.676	1.586
15	3.438	19.21
16	2.514	2,,052
17	3.842	2,06
18	2.954	2,8
19	2.266	
20	1.314	1,18
21	1.39226	1,566
22	2.194	2,232
23	1.464	
24	1.234	2,26

25	1.56	1,85
26	2.532	2.806
27	2.586	1.494
28	1.646	2.34
29	2.458	
30	2.528	
31		
Pr	2.184	1.915

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

Anteriormente ya se hizo una gráfica de frecuencias para poder tener una idea de que días fueron claros o nublados y así poder realizar un mejor análisis, con el fin de poder verificar tal análisis se realizó una gráfica de frecuencias de UVB promedio desde enero a febrero del 2021.



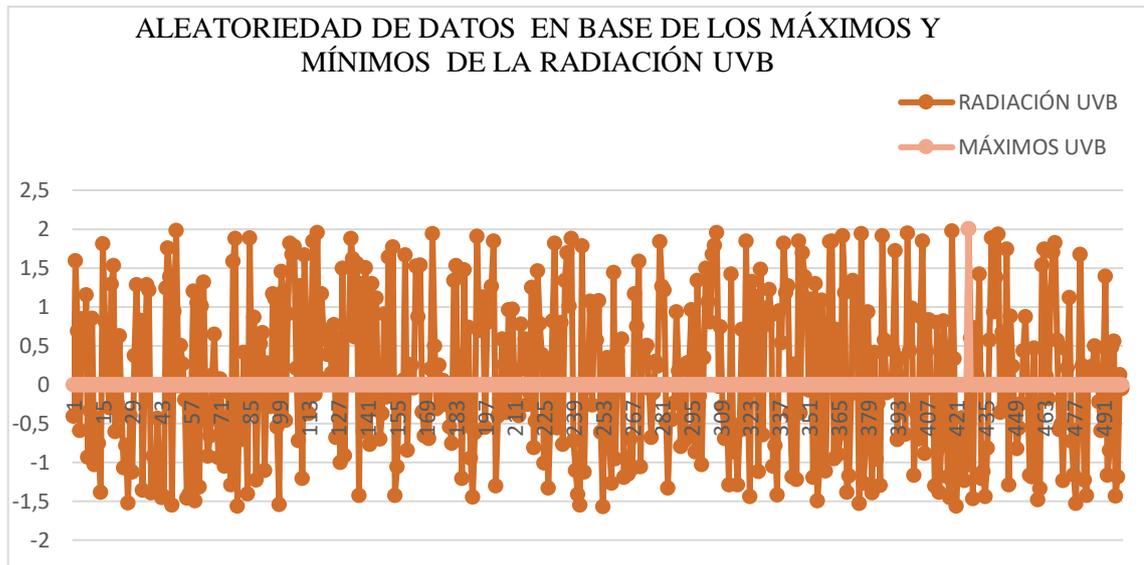
Gráfica 4-3. Valores promedios registrados en la medición de UVB desde el 1 de enero al 28 de febrero del 2021.

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

Observando la gráfica podemos apreciar que la mayor cantidad de datos a considerar son aquellos que oscilan entre 1.87 W/m² y 2.44 W/m², por tal motivo se puede considerar que los otros días presentaron algún tipo de obstrucción para este tipo de radiación como pudieron ser nubosidad o con bastante reflexión lo que provoco disminución de radiación.

Valores máximos de UVB

En un día claro, sin nubes la radiación solar se comporta de manera regular, registrándose datos más precisos con los cuales se puede analizar, siendo estas horas las que regularmente se presenta mayor intensidad de 10:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. en promedio, a continuación de la misma manera que se hizo con la radiación UVB los datos encontrados teóricamente nos servirán de base para obtener la siguiente gráfica.

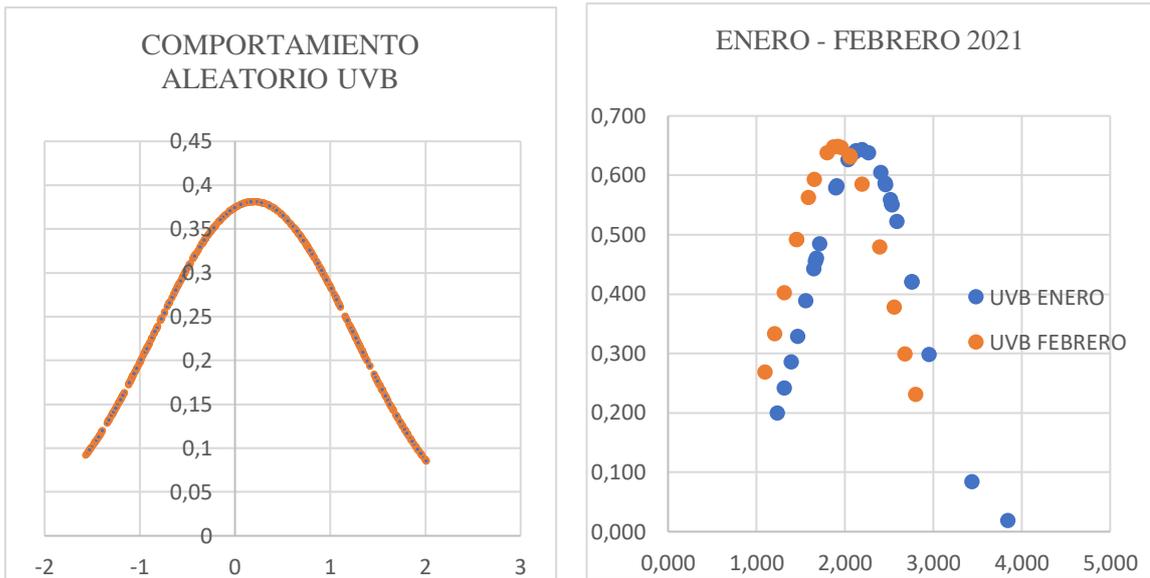


Gráfica 5-3. Comportamiento de la radiación UVB con datos aleatorios

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

Desde las 10:00 a.m. hasta las 3:00 pm del día la intensidad de radiación UVB es mayor y presenta sus primeros efectos en la piel humana, por tanto se ha registrado 500 datos con un rango de nuestro valor mínimo de 0.74W/m^2 y un máximo de 3W/m^2 , por lo general según varios autores en este caso los datos de menor valor se los pueden descartar, en nuestro caso el valor máximo simulado no ha sobrepasado los $2,5\text{W/m}^2$ pero se mantiene con valores aproximados a 2W/m^2 si no se les considera a los valores negativos.

Gráfica de distribución referente a la radiación UVB



Gráfica 6-3. Comportamiento de la radiación UVB mediante sus distribuciones.

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022

Al proseguir con la comparación entre los datos simulados y obtenidos por el modelo matemático se presenta las nuevas distribuciones en este caso para la radiación UVB, comparando a simple vista las distribuciones al igual que en la anterior los datos negativos hacen que nuestro valor central tienda a la izquierda cada vez más, luego se puede apreciar que en los meses mencionados ya anterior mente los datos tiende un unirse, de tal manera podemos sacar información que describa la probabilidad de que nuestros datos aleatorios tengan la probabilidad de ser 3 W/m^2 es de aproximadamente 0,02%; para los meses de enero un 9% y para febrero un 3,8 % tomara este valor tomando una relación aproximada con los ya analizados por parte del Ministerio de Energía y Minas con sus valores superiores a 4 W/m^2 .

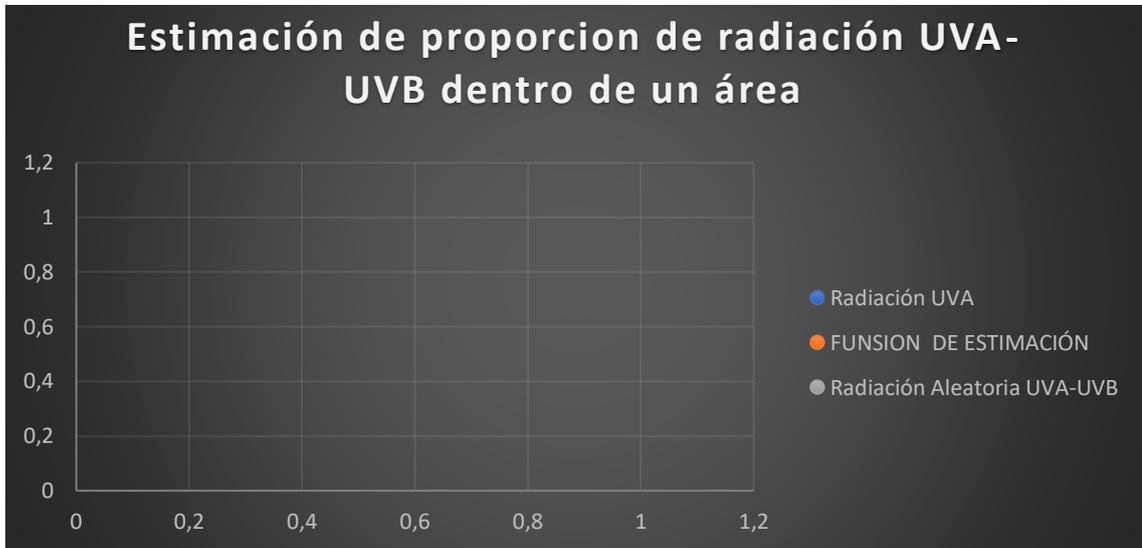
3.1.3. *Análisis de la radiación UVA*

Podemos manifestar de acuerdo con la comparación de datos la simulación se puede acercar en gran medida a los valores teóricos todo en base a probabilidad que presentan; como ya se había mencionado con anterioridad al eliminar los datos de menor valor esta curva se asemejaría a las otras dos.

3.1.4. *Análisis de la radiación UVA-UVB por estimación de proporción dentro de un área*

Al considerar al método Monte Carlo como un generador de probabilidades aleatorias de un evento en el cual primeramente; mientras más grande sea la cantidad de datos mejor será la aproximación de probabilidad en este caso podemos usarlo para estimar la proporción de

radiación tanto UVA como UVB, se había mencionado antes los datos negativos no son los que nos interesa para lo cual se propone una función cuadrática con una estimación de área donde la mitad de la función viene a representar los valores de la radiación UVA de igual manera partiendo de dicha función se puede obtener la variable correspondiente a la radiación UVB sabiendo que este tipo de radiación representa el 20% del total de radiación UV.



Gráfica 7-3. Estimación de proporción de radiación UVA- UVB dentro de un área.

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

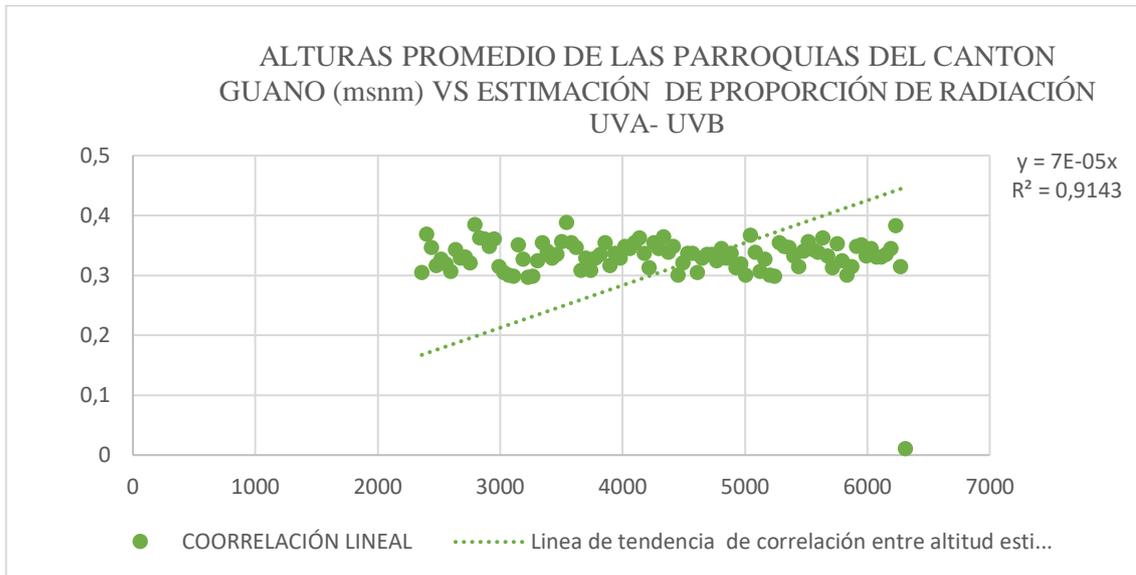
Interpretación de la gráfica 7-3

En la gráfica 7-3. se muestra una superficie de 1 por 1 donde la probabilidad máxima es 1 y las áreas tanto en el parte superior interior e inferior se les atribuye una probabilidad de 1/3 para cada una no obstante el enfoque es en la parte interior donde la curva de color azul nos indica la función correspondiente a la radiación UVA y la anaranjada una función asociada a la inicial . Al ser el método Monte Carlo aleatorio obtendremos un conjunto de estimaciones los cuales son un conjunto de 100 datos ejecutados en el programador de Visual basic una herramienta que forma parte de excel de manera que el conjunto de estimaciones experimentales se aproxime al teórico que en este caso es de 0,333 arrojándonos como promedio de las estimaciones simuladas 0,328 muy próximo a teórico.

De esta manera se procede a generar los siguientes datos: un área estimada de 0,328 el número de datos en el interior del área que es de 175, el número total de datos al ser inicialmente de 500 y lo más importante la diferencia que se asume al saber que la radiación UVB es del 20 % por lo cual corresponde 38,6 del total de datos en el interior.

3.1.5. Correlación entre alturas promedio de las parroquias del cantón guano (msnm) y estimación de proporción de radiación UVA- UVB

Una vez obtenidos los datos por el método de correlación se espera ver una distribución que favorezca a la hipótesis planteada obteniendo la siguiente grafica.



Gráfica 8-3. Correlación entre alturas promedio y estimación de proporción de radiación UVA- UVB

Realizado por: Trujillo, Willian. 2022.

Como punto final y como respuesta a la hipótesis propuesta, se optó por buscar una medida la cual nos permita evaluar y cuantificar la dependencia entre dos variables como son la altitud de mi cantón al ser irregular se toma en consideración un rango de variación de 39,5 partiendo desde una altura 2360 msnm en la zona más baja del cantón hasta su elevación más prominente el Chimborazo a 6310 msnm de esta manera se obtuvo 100 datos referentes a esta variable.

Utilizando la ecuación 1,57 se puede calcular el coeficiente de correlación, otra forma más rápida es utilizar excel mediante el comando =COEF.DE.CORREL() en donde debemos tener en claro que nuestra variable medida es la altitud y nuestra variable predicha es la estimación de proporción de la radiación de esta manera nuestro coeficiente -0.1326; este valor nos indica que hay una correlación baja negativa.

Al tener una correlación negativa se entiende que ambas variables van en sentido contrario todo esto lo podremos apreciar en la gráfica 8-3; de esta manera se puede obtener otros datos de regresión, análisis de varianza etc. observar en el anexo F.

El valor del error típico que nos arrojó esta correlación es de 0,00019 por lo cual se puede decir que el valor de desviación de nuestros datos es muy pequeño.

CONCLUSIONES

Para proceder a realizar una simulación tener en cuenta sobre todo los tipos de datos que existe ya sean continuos o discretos, hay que considerar que el tipo de variable a escoger; para el método de Monte Carlo los datos aleatorios como en el presente caso se generan distintos valores ya sean positivos y negativos como se observaron al tomar los máximos y mínimos como rango, en el caso del presente proyecto fue preciso generar un área con la cual se pueda simular la forma de interactuar de los datos en mi caso escogí la radiación como punto de partida para luego poder relacionar con otra variable, por consiguiente al generar este tipo de datos aleatorios mientras mayor es el número mejor se aproximara el evento al suceso real.

Como punto de partida para que nuestra simulación por el método de Monte Carlo nos genere las probabilidades deseadas es importante tener en cuenta la manera de generar los números aleatorios y como estos números que se generan tienen para tener misma probabilidad de ser elegidos o seleccionados, de este modo al ser generados podemos ver diferentes sucesos que tardarían en ocurrir en un nuestro entorno.

Al tomar en cuenta un valor topográfico como es el caso de la altitud que contempla una variedad de medidas respecto a nuestra zona de estudio en el cual se tuvo que utilizar una correlación para medir la dependencia que tiene la variable radiación UV con la altitud, por lo tanto esta variable topográfica (UV) tienen una dependencia de la altitud tal y como se comprobado probabilísticamente en menor número en relación si se comparara con la cantidad de ozono en nuestra atmósfera por parte de estudios realizados.

Por el poco acceso a la información que brinda el INAMHI y los datos incompletos que fueron entregados el valor de correlación entre los datos teóricos, aleatorio y experimentales presentan un bajo coeficiente de correlación cuyo valor es de -0.0998 , de esta manera se entiende que su dependencia es muy baja por razón de que solo son 7 datos de la radiación UVB correspondientes a los 7 días registrados de modo que para tener una estimación mayor se debe poseer un mayor número de datos para que su error típico se reduzca de $1,6969$ lo más próximo a 0.

RECOMENDACIONES

Al realizar mediciones de radiación ultravioleta en lugares con mayor altura como cordillera de Los Andes indica que la radiación ultravioleta puede incrementarse debido a la reflexión de superficies por lo tanto hay que tomar en cuenta este tipo de factor.

Tener en cuenta las medidas de tendencia central pues son muy importantes para la obtención de información y tener en claro que tipo de datos se van a utilizar , Guano es una zona que posee una población con tipos de piel que pueden ser II y III según la tabla 1, al presentar turismo frecuentemente se puede encontrar con personas de piel tipo I, con datos referenciales de Guano en general en donde se encontró valores máximas 8 de IUV, demostrando que en varias zonas de este cantón es necesario SOLMAFAROS, este tipo de aparatos serviría en gran medida para el cuidado de la población para la proteja su piel.

GLOSARIO

Estado de un sistema: Conjunto mínimo de variables necesarias para caracterizar o describir todos aquellos aspectos de interés del sistema en cierto instante de tiempo también conocida como variable de estado (Pinto Triana, 2013)..

Evento: es una ocurrencia instantánea que puede cambiar el estado de un sistema (Cachorro Revilla, 2008, p.18).

Modelo de simulación: Conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre los elementos del sistema que lo conforma (Eugenio, 2008, p.22).

Perihelio: Distancia mínima de la tierra al sol es de 1.471×10^8 km (Cachorro Revilla, 2008, p.18).

Simulación por eventos discretos: Se define como el modelo cuyo comportamiento varía en instantes del tiempo dados y sus momentos producen variaciones que se identifican como los eventos del sistema o simulación (Eugenio, 2008, p.22).

Sistema: Un sistema se puede definir como un conjunto de objetos o entidades que interactúan entre sí para alcanzar el logro de un objetivo (Pinto Triana, 2013).

Topología: Busca contemplar los datos geográficos a partir de coordenadas de la entidad geográfica en un sistema de referencia externo para hacer análisis territoriales (Eugenio, 2008, p.22).

BIBLIOGRAFÍA

ALDANA, B.Z., 2011. *Phototoxicity. Ultraviolet radiation and cataracts. Archivos de la Sociedad Espanola de Oftalmologia* [en línea], vol. 86, no. 9, pp. 306. ISSN 03656691. DOI 10.1016/j.oftal.2011.06.013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oftal.2011.06.013>.

ÁLVAREZ HERNÁNDEZ, O., MONTAÑO PERALTA, T. y MALDONADO CORREA, J., 2014. *La radiación solar global en la provincia de Loja, evaluación preliminar utilizando el método de Hottel. Ingenius*, no. 11, pp. 25. ISSN 1390-650X. DOI 10.17163/ings.n11.2014.03.

ÁLVAREZ HERNANDEZ, O. y MONTAÑO, T., 2014. **ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN SUR DE ECUADOR.** Energía Eólica. *Universidad Nacional de Loja.*, vol. 45, no. Supplement, pp. 1-73. ISSN 0300-9165.

ANDALUCIA, F., 2009. El envejecimiento cutáneo. Causas que lo desencadenan o aceleran. Manifestaciones. Tratamientos estéticos preventivos y paliativos . *Federación de enseñanza* [en línea], vol. 2, pp. 1-12. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd4869.pdf>.

BAUTISTA CARRASCOSA, M.I., 2013. *Altura solar.* [en línea], [Consulta: 21 marzo 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/30864>.

BENAVIDES BALLESTEROS, H.O., 2010. *Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico. Ideam-Meteo.* S.l.:

BERROCAL TITO, M., VELASQUE, C. y CARITA, R., 2010. El método de Monte Carlo y la solución de la ecuación de transferencia radiativa. *Revista de investigación de física*, vol. 13, pp. 1-9.

BUITRAGO, R., 2005. La Energía del Sol. *ConCiencia*, no. 14, pp. 10-17. ISSN 0328-3992. DOI 10.14409/cc.v1i14.2184.

CACHORRO REVILLA, V., 2008. *Radiación Solar en el Sistema Tierra-Atmósfera.* Editions P. Valladolid: s.n. ISBN 9788484448484.

CALLE, A.P.A., 1999. Analisis de la irradiancia eritemática: datos experimentales y relación con el contenido total de ozono. , pp. 162-165.

CAMPOS, B., 2016. *DISTRIBUCIONES TEÓRICAS DE PROBABILIDAD Funciones de probabilidad.* , vol. 4, pp. 1-19.

CAÑARTE SOLEDISPA, K., 2010. Radiación ultravioleta y su efecto en la salud. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, no. 9, pp. 26-33. ISSN 1692-8415. DOI 10.19052/sv.1520.

CHAMORRO, M.V., SILVERA, O.C., OCHOA, G.V., ORTIZ, E.V. y CASTRO, A.O., 2017. *Cálculo de las radiaciones total, directa y difusa a través de la transmisibilidad atmosférica en los departamentos del Cesar, La Guajira y Magdalena (Colombia).* *Espacios*, vol. 38, no. 7, pp. 1-18. ISSN 07981015.

CHÁVEZ, E., QUEVEDO, H. y GARZA, V., 2006. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA MEDIDA A NIVEL DE SUPERFICIE TERRESTRE EN EL AÑO 2003 EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA. *Culcyt*, no. 16, pp. 5-22.

CONELEC CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, 2008. Atlas Solar Del Ecuador Con Fines De Generación Eléctrica. *Corporación para la Investigación Energética* [en línea], pp. 1-51. Disponible en: <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>.

DELGADO ORELLANA, G. y ORELLANA SAMANIEGO, M.L., 2015. “*ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA EN EL CANTÓN CUENCA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO BRISTOW & CAMPBELL*”. S.I.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

DOMINGO, A., 2015. Apuntes de transmisión del calor. *Arquitectura, Instalaciones E T S*, vol. 2, no. 0, pp. 1-83.

ESCOBEDO-BRETADO, J.A., GONZÁLEZ, M.H., REYNOSO CUEVAS, L. y ALARCÓN-HERRERA, M.T., 2017. Cuantificación de la Incidencia de Radiación Ultravioleta (UV-A, UV-B) en Durango, México. *Revista de Energías Renovables*, vol. 1, no. 2, pp. 23-30.

ESTER BRANDAN, M., 1995. A cien años de las observaciones de Becquerel: los descubrimientos de la radiactividad. *Instituto de física UNAM* [en línea], vol. 9, no. 4, pp. 209-212. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/23405043136_es.pdf.

EUGENIO, S.G., 2008. *Trabajo de investigación I (Especialización Sistemas Distribuidos, Multimedia y Seguros)* [en línea]. Quevedo: Disponible en: https://www.academia.edu/37088558/Trabajo_de_investigación_I_Especialización_Sistemas_Distribuidos_Multimedia_y_Seguros_Autor_Eugenio_Soler_Galán.

EXA- AGENCIA ESPACIAL CIVIL ECUATORIANA. [en línea], 2007. [Consulta: 17 marzo 2021]. Disponible en: <http://exa.ec/>.

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE A PCIA DE BUENOS, 2005. Simulación método monte carlo. *Investigación Operativa I*, pp. 1-13.

FLAKUS, F.N., 2005. Detección y medición de las radiaciones ionizantes: historia sucinta. *IAEA Boletín* [en línea], vol. 23, no. 4, pp. 31-36. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/23405043136_es.pdf.

GÓMEZ, E., 2006. Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría. *Campos electromagnéticos - Óptica* [en línea], vol. 1, pp. 1-41. Disponible en: <http://laplace.us.es/campos/optica/opt-guia2.pdf>.

GONZÁLEZ DAN, J., 2015. *Introducción del Factor Humano al Análisis de Riesgo* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/325427/TJRGD1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

HOLLY MOORE, 2010. MATLAB ® para ingenieros Contenido. [en línea]. S.l.: Disponible en: [http://dea.unsj.edu.ar/control2/matlab para ingenieros.pdf](http://dea.unsj.edu.ar/control2/matlab%20para%20ingenieros.pdf).

LOSILLA VIDAL, J.M., 1994. *Herramientas para un laboratorio de estadística fundamentado en técnicas Monte Carlo*. S.l.: Universitat Autònoma de Barcelona.

MCCLUNEY, W., 2016. *Introduction to Radiometry and Photometry 2nd ed : Title Page & Table of Contents Introduction to Radiometry and Photometry Second Edition*. ARTECH HOU. BOSTON-LONDON: s.n. ISBN 9781608078332.

MOLINA, D., ÁLVAREZ, O., MONTAÑO, T. y LOJA, U.N. DE, 2017. *Softwares Para el*

cálculo de la radiación solar teórica con cielo despejado. DOI: 10.13140/RG.2.2.36323.40483. [en línea], pp. 1-12. DOI 10.13140/RG.2.2.36323.40483. Disponible en: orlando21alvarez@gmail.com.

MOLINA MONJE, A., 2017. Modelo de Radiación Solar. [en línea], pp. 1-19. Disponible en: <http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/downloads/radiacion.pdf>.

NIMBUS, 2002. Mirando al cielo: fenómenos ópticos atmosféricos (y II). *RAM* [en línea], no. 3, pp. 7. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/numero3/pdf/fenopticos.pdf>.

OMS;, PNUMA;, OMM;, UNEP; y ICNIRP;, 2003. *UV solar mundial*. *Oms* [en línea], vol. 29, pp. 31. Disponible en: <http://www.who.int/uv%0Ahttp://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>.

PEÑAFIEL, M., 2008. MODELO MONTE CARLO PARA IRRADIANCIA RELATIVA UV-B. *REVISTA BOLÍVIANA DE FÍSICA*, vol. 14, pp. 58-64.

PETAZZI, A., SALSÓN, C.S. y SOUTO, G.J., 2015. *Modelo de transferencia radiativa para la estimación de la radiación solar global*. , no. April 2004, pp. 1-7.

PULGAR ALVEAR, B., 2015. *Plan de desarrollo turístico, histórico y cultural para las parroquias de San Andrés Y San Isidro de Patulú, En la provincia de Chimborazo*. S.l.: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

REDONDO, F. y REDONDO, R., 2017. Ángulo Plano Y Solido. *Universidad de Salamanca* [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 1-7. Disponible en: <https://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Comentarios/Temas/AnguloSolido.pdf>.

REVELO VACA, D., ORDÓÑEZ, F. y VILLADA LÓPEZ, J., 2019. *Atlas Solar del Ecuador*. *SCINERGY* [en línea], pp. 1-30. Disponible en: https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf.

RIVAS PÁRRAGA, K. y MORILLO LUPERA, P., 2016. *Implentación de un generador de numeros pseudoaleatorios sobre una fpga para aplicacion de dispersión de energia en transmisiones de televisión y radio digital*. *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*, pp. 1-152.

RODRÍGUEZ MOREA, M. y HUERTA, C., 2018. *Sistemas de información geográfica. Sistemas de información geográfica. S.l.:*

ROMERO ROCHÍN, V., 2015. *Radiación de cuerpo negro - Gas de fotones. Instituto de Física. Universidad Nacional Autónoma de México. México:*

ROSS, S.M., 1999. *Simulación* [en línea]. 2 Edición. BERKELEY: s.n. ISBN 970170259X. Disponible en: https://www.academia.edu/37088558/Trabajo_de_investigación_I_Especialización_Sistemas_Distribuidos_Multimedia_y_Seguros_Autor_Eugenio_Soler_Galán.

SALVAT, F., 2019. **PENELOPE 2018: A code system for Monte Carlo simulation of electron and photon transport | READ online.** [en línea]. [Consulta: 18 marzo 2021]. Disponible en: https://read.oecd-ilibrary.org/nuclear-energy/penelope-2018-a-code-system-for-monte-carlo-simulation-of-electron-and-photon-transport_32da5043-en#page6.

SERRANO JAREÑO, M.-A., 2013. *Estudio de irradiancia de bandas del espectro solar. Factores de banda para la caracterización de condiciones atmosféricas en Valencia. S.l.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.*

US EPA, O., 2019. *Efectos de la radiación UV en la salud. EPA* [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2021]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-de-la-radiacion-uv-en-la-salud>.

VACA, D., 2018. *Validación de datos satelitales de radiación solar utilizando mediciones terrestres para el Ecuador* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19516>.

VANEGAS CHAMORRO, M., VILICAÑA ORTÍZ, E. y ARRIETA VIANA, L., 2015. *Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de la guajira-colombia mediante el calculo de transmisibilidad atmosférica. Prospectiva*, vol. 13, no. 2, pp. 54-63. ISSN 16928261. DOI 10.15665/rp.v13i2.487.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003. *Artificial tanning sunbeds: risk and guidance. Artificial tanning sunbeds: risk and guidance* [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.who.int/uv/publications/sunbedpubl/en/>.

ANEXOS

ANEXO A. TABLA DE FROLICH AND WEHRLIA PARA IRRADIACIÓN ESPECTRAL

$\lambda(\text{nm})$	$I_{\text{on } \lambda} (\text{W/m}^2/\text{nm})$	$\lambda(\text{nm})$	$I_{\text{on } \lambda} (\text{W/m}^2/\text{nm})$
280	0,0906	298	0,5286
281	0,1585	299	0,5024
282	0,2692	300	0,47
283	0,3222	301	0,4693
284	0,3025	302	0,4466
285	0,1865	303	0,6041
286	0,2546	304	0,6278
287	0,3578	305	0,3673
288	0,3225	306	0,6
289	0,4028	307	0,6143
290	0,5596	308	0,666
291	0,611	309	0,6097
292	0,5675	310	0,5055
293	0,55	311	0,7623
294	0,5428	312	0,7005
295	0,5453	313	0,6974
296	0,5731	314	0,7428
297	0,5064	315	0,686

ANEXO B. CÓDIGO FUENTE DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA TIPO A Y B EN MATLAB

Este tipo de código dependerá de factores para cada tipo de radiación.

```
%% PROGRAMA DE CALCULO RADIACION ULTRAVIOLETA B - MODELO 01 %%
function [igb]=igsuma(n)
oz=0.239; % Columna de ozona ingresada por el usuario para determinado día.
dn=1:1:365; % Días del año
R=2*pi*(n-1) ./365; % Angulo del día en radianes (Ec: 2.5) Eo=1.000110 +
(0.034221.*cos(R)+0.001280*sin(R)+0.000719*cos(2*R) +0.000077*sin(2.*R)); % Factor de
corrección
zi=0.006918-0.399912*cos(R)+0.070257*sin(R)-0.006758*cos(2*R) +0.000907*sin(2*R)
0.002697*cos(3*R) +0.00148*sin(3*R); % ángulo de declinación en radianes
Et=(0.000075+0.001868*cos(R)-0.032077*sin(R)-0.014615*cos(2*R) 0.04089*sin(2*R))
*229.18; % Ecuación del tiempo en minutos
for t=6:18; % el tiempo empieza 6.34 if t<=11|t>=13 h= t + (12-t) *((4*(76-70.0882) + Et) /60)
/6; % Donde 76 es la longitud estándar del lugar.
Else
h= t + ((4*(76-70.0882) + Et) /60); % Tiempo solar verdadero
end
w=(pi/180) *15*(12-h); % Angulo horario
phi=-13.8795*(pi/180); % latitud geográfica de guano en radianes
coscnit=-0.08884+0.9018*cos(w)
coscnit=sin(zi) .*sin(phi)+cos(zi) .*cos(phi) .*cos(w); % coseno del cenit
cnit=acos(coscnit); % ángulo cenital
mr= (coscnit + 0.15*(93.885-cnit*pi/180)^(1.253)) ^-1; % masa óptica relativa de aire general
p=1013.25*exp(-0.0001184*3960);% Presión atmosférica del lugar, altura msnm
ma=mr*(p/1013.25);% masa óptica relativa de aire a una determinada altura
re=6370; % Radio Terrestre
z3=20; % altura sobre el nivel del mar (km)
mo= (1+(20/6370)) ./(((coscnit) ^2) + 2*(20/6370)) ^ (0.5); % masa óptica de ozono
L=280:1:315; % longitud de onda para la RADIACION ULTRAVIOLETA (A-B) se acogió el
tipo B
TrL=exp(-0.008735*(L) ^-4.08) .*ma); % transmitancia de raileigh
Io= [0.0906 0.1585 0.2692 0.3222 0.3025 0.1865 0.2546 0.3578 0.3225 0.4028 0.5596 0.6110
0.5675 0.55 0.5428 0.5453 0.5731 0.5064 0.5286 0.5024 0.47 0.4693 0.4466 0.6041 0.6278
```

0.3673 0.6 0.6143 0.666 0.6097 0.5055 0.7623 0.7005 0.6974 0.7428 0.686]; % Datos según Gueymard.

ko= [105 94.4 84.7 79.2 71.2 63.5 57.7 52.1 45.2 40.5 36.1 32.3 27.8 25 21.6 19.2 16.4 14.6 12.5 11.1 9.52 8.29 7.29 6.22 5.58 4.69 4.2 3.59 3.12 2.82 2.31 2.11 1.78 1.53 1.39 1.12]; %Datos según Gueymard.

Toz=exp (-ko. *oz. *mo); % Transmitancia de ozono

fc=0.9003+0.00325*cnit-(9.04914*10^-5) *cnit^2; % Ecuación deducida

wo=1;

TaL=exp(-0.1*((L). ^-1.3) *ma); %transmitancia de aerosol

In= ((Eo. *TrL. *TaL)). *Toz. *Io; %Irradiancia espectral directa

Idr=((0.5*(1-TrL). *TaL)). *Toz. *Io. *coscnit; %Irradiancia espectral difusa Rayleigh

Ida=(fc*wo*(1-TaL). *TrL). *Toz. *Io. *coscnit; %Irradiancia espectral difusa producida por aerosoles (Ec: 2.32) Pa=Toz.*[0.5*((1-TrL).*TaL)+(1-fc).*wo*(1- TaL).*TrL]; %albedo atmosférico

Idm=(In.*coscnit+Idr+Ida). *(0.35/0.8); %

Ig=(In.*coscnit+Idr+Ida+Idm); %Irradiancia global en el suelo

igb(t)=trapz(L,Ig); % Forma integrada de la irradiancia global

end

igb (1:5) = []

x=igb.

ti=6:18.

plot (ti, igb,'--bs')

grid

igb'

**ANEXO C. REGISTRO DE UVB PARA EL MES DE ENERO DEL 2021 ENTREGADOS
POR PARTE DEL INAMHI**

ANEXO	01/01/2	02/01/202	03/01/2	04/01/202	05/01/202	06/01/202	07/05/202
	021	1	021	1	1	1	1
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0
07:00:08	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
08:00:08	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
09:00:08	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
10:00:08	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
11:00:08	4	3,8	3,9	3,8	3,8	3,9	3,9
12:00:08	4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
13:00:08	4	4	4	3,9	3,9	3,9	3,9
14:00:08	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3
15:00:08	2,7		2,5	2,6	2,6	2,6	2,6
16:00:08	1,6	1,6		1,5	1,5	1,6	1,6
17:00:08	0,5		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
18:00:08	0			0	0	0	0
19:00:08	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO D. DATOS METEREOLÓGICO Y HIDROLÓGICOS RECOGIDOS POR EL INAMHI

FECHA	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE % PROM	PRESION ATMOSFERICA hPa PROM	RECORRIDO DEL VIENTO m SUM	TEMPERATURA AIRE °C PROM	VIENTO VELOCIDAD m/s INST
1/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,3
1/1/2021 22:00	100	728,3	0	11,4	null
1/1/2021 23:00	100	728,3	4	11,3	1,5
2/1/2021 0:00	null	null	null	null	1,2
2/1/2021 22:00	99,2	727,8	0	11,7	null
2/1/2021 23:00	100	727,6	0	10,7	0,6
3/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,9
3/1/2021 22:00	92,6	726,8	0	13,1	null
3/1/2021 23:00	98,9	726,8	0	12,3	0,5
4/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,4
4/1/2021 22:00	86,2	726,5	0	13,1	null
4/1/2021 23:00	86,1	726,4	0	13,1	0,6
5/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,7
5/1/2021 22:00	100	726,9	0	12,2	null
5/1/2021 23:00	100	726,9	0	12,1	0,9
6/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,5
6/1/2021 22:00	100	728	0	11	null
6/1/2021 23:00	100	727,9	0	11,1	0,6

7/1/2021 0:00	null	null	null	null	1,4
7/1/2021 22:00	84,9	728,2	26	11,8	null
7/1/2021 23:00	86,2	728,2	7	11,5	1,8
8/1/2021 0:00	null	null	null	null	1,7
8/1/2021 22:00	89,3	728,1	0	11,6	null
8/1/2021 23:00	96,2	728,1	11	11	1,1
9/1/2021 0:00	null	null	null	null	2,2
9/1/2021 22:00	98,9	727,6	1	11	null
9/1/2021 23:00	100	727,9	0	10,7	0,4
10/1/2021 0:00	null	null	null	null	1,2
10/1/2021 22:00	85,9	727,5	6	12,3	null
10/1/2021 23:00	90	727,7	10	12	null
11/1/2021 0:00	null	null	null	null	null
11/1/2021 22:00	79,3	727,7	6	12,8	null
11/1/2021 23:00	87,4	728	20	12,1	2,5
12/1/2021 0:00	null	null	null	null	1,2
12/1/2021 22:00	100	727,5	6	10,7	null

12/1/2021 23:00	100	727,5	5	10,3	1,9
13/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,8
13/1/2021 22:00	93,7	726,9	18	12,3	null
13/1/2021 23:00	99,4	727	0	11,8	1,4
14/1/2021 0:00	null	null	null	null	1
14/1/2021 22:00	85	726,7	14	12,6	null
14/1/2021 23:00	89,7	727,2	2	12,2	1,3
15/1/2021 0:00	null	null	null	null	1
15/1/2021 22:00	78,1	726,5	10	13,5	null
15/1/2021 23:00	82,2	726,7	0	12,5	1,2
16/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,6
16/1/2021 22:00	84,2	727	0	13,1	null
16/1/2021 23:00	93,1	727,1	0	12,7	0,5

17/1/2021 0:00	null	null	null	null	1,6
17/1/2021 22:00	84,3	726,4	0	11	null
17/1/2021 23:00	82,1	726,7	0	10,5	0,5
18/1/2021 0:00	null	null	null	null	0,5

ANEXO E. CUADROS DE RESUMEN DE CORRELACIÓN ALTITUD VS ESTIMACIÓN DE PROPORCIÓN DE RADIACIÓN UVA- UVB

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,078958065
Coeficiente de determinación R ²	0,006234376
R ² ajustado	-0,003803661
Error típico	0,005006285
Observaciones	101

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,55659E-05	1,55659E-05	0,62107524	0,432530951
Residuos	99	0,002481226	2,50629E-05		
Total	100	0,002496792			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	0,012344003	0,001940195	6,362247557	6,20285E-09	0,008494235	0,016193771	0,008494235	0,016193771
Variable X 1	3,40895E-07	4,32562E-07	0,78808327	0,432530951	5,17402E-07	1,19919E-06	5,17402E-07	1,19919E-06

ANEXO F. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LAS PARROQUIAS PERTENECIENTES AL CANTÓN GUANO

Parroquia San Andrés

Características geográficas de la parroquia San Andrés



Mapa de la parroquia San Andrés

Ubicación	La parroquia de San Andrés se encuentra ubicada en la sierra central del país, en una pequeña meseta andina al noroeste de la provincia de Chimborazo políticamente perteneciente al cantón Guano. Se encuentra a 10 km de la ciudad de Riobamba con coordenadas: UTM, Datum WGS84, zona 17s. Latitud (NORTE): 9 467261. Longitud (ESTE): 6 89599.
Límites	Al Norte: la provincia Tungurahua Al Sur: el cantón Riobamba y Guano Al Este: la parroquia San Isidro Al Oeste: la provincia de Bolívar y Riobamba
Altitud	Tiene una altitud que oscila desde los 3020 m.s.n.m. hasta los 6310 m.s.n.m. pertenecientes al nevado Chimborazo.
Clima	Su clima es templado y frío en las zonas altas.
Temperatura	Registra temperaturas que oscilan desde los 0 ° centígrados hasta los 19° centígrados

Parroquia San Isidro de Patulú

Características geográficas de la parroquia San Isidro de Patulú



Mapa de la parroquia San Isidro.

Ubicación	La parroquia de San Isidro de Patulú está situada de acuerdo con las coordenadas Latitud: -1.58333 Longitud: -78.6833 forma parte del cantón Guano, provincia de Chimborazo, ubicada en la Sierra Central del Ecuador.
Límites	AL NORTE: La provincia de Tungurahua. AL ESTE: Las parroquias de Santa Fe de Galán, Ilapo, Valparaíso y el cantón Guano. AL SUR: La parroquia San Andrés y el cantón Guano. AL OESTE: La parroquia San Andrés.
Altitud	Su altitud oscila entre 2801 y 4329 m sobre el nivel del mar.
Clima	Su clima es templado y frío en las zonas altas.
Temperatura	Registra temperaturas que oscilan desde los 5° centígrados hasta los 18° centígrados.

Parroquia Guanando

Características geográficas de la parroquia Guanando



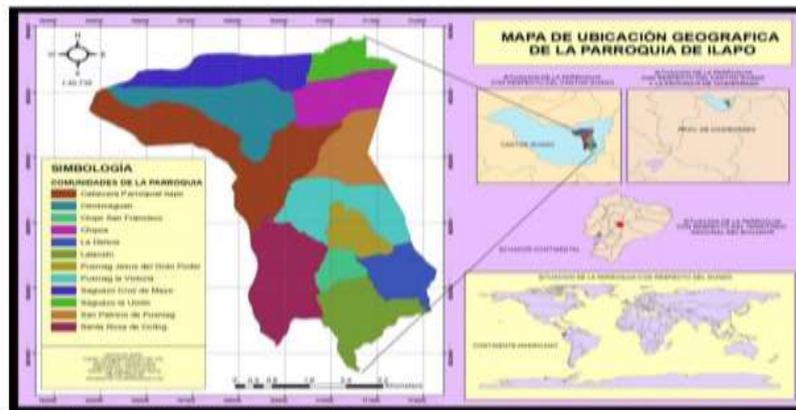
Mapa de la parroquia Guanando

Ubicación	La parroquia de Guanando se encuentra ubicada en la parte oriental de la provincia de Tungurahua a 60 minutos de Riobamba.
Límites	Norte: Provincia del Tungurahua, Cantón Pelileo Sur: Parroquia La Providencia Este: Río Chambo Oeste: Cantón Quero y Parroquia Santa Fe de Galán Parroquia San José de Chazo Parroquia La Providencia
Altitud	Posee un rango Altitudinal de Zona Baja: 2400 m.s.n.m. margen río Chambo Zona Alta: 3400 m.s.n.m. sector los Arrayanes
Clima	Esta parroquia posee los siguientes microclimas: Clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña , que va en la comunidad de Cahuaji Bajo en el sector de los Arrayanes. Clima Ecuatorial Mesotérmico Semi Húmedo , es el clima más notorio de la comunidad de Guzo Grande y a cabecera Parroquial.
Temperatura	Registra temperaturas en sus zonas altas con un máximo que rara vez sobrepasan los 20°C, las mínimas valores inferiores a 5°C y las medias anuales, aunque muy variables, cambian casi siempre entre 4 y 12°C.

En sus zonas más bajas las temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 12 y 20 °C y las temperaturas mínimas descienden rara vez a cerca de bajo los 5°C y las máximas no superan los 30° C, con un promedio que oscila desde los 10° C hasta los 28,3°C en los meses más caluroso.

Parroquia San Lucas Ilapo

Características geográficas de la parroquia San Lucas Ilapo.



Mapa de la parroquia Ilapo

Ubicación	La parroquia de San Lucas de Ilapo se encuentra en las coordenadas proyectadas UTM zona 17 S, datum WGS 84 X: 9829313 sur Y: 768386 En provincia de Chimborazo políticamente perteneciente al cantón Guano.
Límites	Norte: Parroquia Santa Fe de Galán Sur: Matriz Guano Este: Parroquia san José de Chazo y la Providencia Oeste: Parroquia Valparaíso
Altitud	Posee un rango altitudinal de 2853 a 4120 m.s.n.m en su punto más alto.
Clima	Precipitación: 550 mm anuales Humedad relativa: 75%
Temperatura	Registra temperaturas que oscilan desde los 6 °C a los 18 °C.

Parroquia Santa Fé de Galán

Características geográficas de la parroquia Santa Fé de Galán.



Mapa de la parroquia Santa Fé de Galán

Ubicación	Esta parroquia se ubica por las coordenadas proyectadas UTM zona 17S DATUM WGS84 X: 771146 E Y: 9835086 N
Límites	Norte: Provincia de Tungurahua Sur: Parroquias Ilapo y San José de Chazo Este: Parroquia Guanando Oeste: Parroquia San Isidro de Patulú
Altitud	Posee un rango altitudinal desde 2440 – 4160 m.s.n.m
Clima	Paramo 3586 – 4160 m altura Ecuatorial frio semi húmedo 3013 –3586 m altura Ecuatorial Meso térmico semi húmedo 2440 – 3013 m altura
Temperatura	Tiene un promedio de temperatura anual de 6 a 18°C.

Parroquia San Gerardo

Características geográficas de parroquia San Gerardo



Mapa de la parroquia San Gerardo

Ubicación	La parroquia de San Gerardo se encuentra ubicada en las coordenadas latitud 1°37'54" S y longitud 78°36'43" O de acuerdo con la última delimitación del territorio, a 5 min de la ciudad de Riobamba.
Límites	Al Norte: las parroquias El Rosario y La Matriz Al Sur: el cantón Riobamba Al Este: la parroquia La Matriz y el cantón Riobamba Al Oeste: la parroquia El Rosario
Altitud	Altitud Tiene una altitud de 2670 m.s.n.m hasta los 2754 m.s.n.m.
Clima	Su clima es templado
Temperatura	Registra temperaturas que oscilan desde los 0 ° centígrados hasta los 19° centígrados

Parroquia La Providencia

Características geográficas de la parroquia La Providencia



Mapa de la parroquia La Providencia

Ubicación	La parroquia La Providencia se encuentra ubicada por ubicación GPS satelital en las coordenadas: Latitud: -1.56667 Longitud: -78.55
Límites	Al Norte: la provincia Tungurahua Al Sur: el cantón Riobamba y Guano Al Este: la parroquia San Isidro Al Oeste: la provincia de Bolívar y Riobamba
Altitud	Tiene una altitud 2360 m.s.n.m.
Clima	Su clima es templado y frío en las zonas altas. Presenta alta nubosidad.
Temperatura	La temperatura que dominante en la parroquia varía entre 13 y 14 °C

Parroquia Valparaíso

Características geográficas de la parroquia Valparaíso

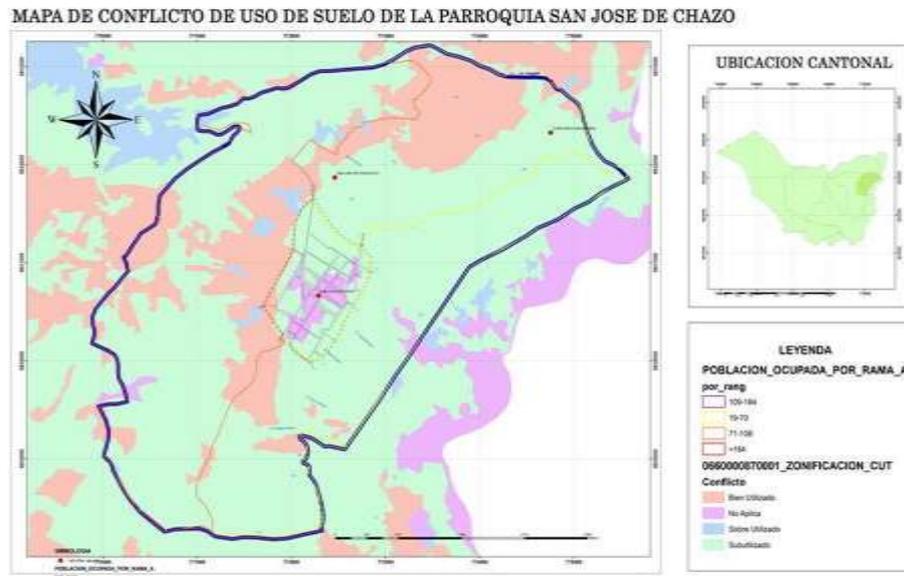


Mapa de la parroquia Valparaíso

Ubicación	La parroquia Valparaíso se encuentra ubicada por las coordenadas geográficas: 1°30'42" de latitud sur 78° 37'36" de longitud este
Límites	Norte: las parroquias rurales de Santa Fe de Galán e Ilapo. Sur: la parroquia urbana La Matriz de la cabecera cantonal. Este: la parroquia rural de Ilapo. Oeste: la parroquia urbana La Matriz de la cabecera cantonal y la parroquia rural San Isidro de Patulú.
Altitud	Tiene una altitud de 3.050 m.s.n.m en su punto más bajo y 3800 m.s.n.m hasta los 4169 m.s.n.m en lo más alto de sus paramos
Clima	Predominan dos tipos de clima: El clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo. El clima ecuatorial de alta montaña (alta nubosidad)
Temperatura	Registra temperaturas medias anuales que están comprendidas generalmente entre 12 y 20° C en el clima mesotérmico. En el caso de alta montaña sus temperaturas medias anuales son desde los 3°C hasta 12 °C.

Parroquia San José de Chazo

Características geográficas de la parroquia san José de Chazo



Mapa de conflicto de uso de tierras de la parroquia Chazo

Ubicación	La parroquia de San José de Chazo se encuentra ubicada l noreste de la ciudad de Guano, 11km al este por vía hasta Pungal El Quinche.
Límites	Norte: parroquia Santa Fe de Galán Sur: parroquia La Providencia Este: parroquia Ilapo Oeste: parroquia Guanando.
Altitud	Posee una altitud en San José de Chazo de 2520 a 3280 m.s.n.m. con pendientes predominantes de 12% a 25%. Medio Aluvial Chazo Bajo San Antonio 2560 a 2920 m.s.n.m con pendientes predominantes de 12% a 25%y 5% a 12%.
Clima	Posee dos tipos de microclimas: Ecuatorial meso térmico semi-húmedo , con precipitación anual es de 550 a 2.000 mm, tiene dos estaciones lluviosas que oscilan entre febrero-mayo y octubre-noviembre. Este clima es característico a los 3 000m de altura de la parroquia. Ecuatorial meso térmico seco , el clima mesodérmico seco esta presenta en el fondo de los valles con precipitaciones son inferiores a los 550 mm anuales.

Temperatura

La temperatura media oscila entre 10 y 12°C en el caso del clima Ecuatorial meso térmico semi-húmedo.

En el caso del clima Ecuatorial meso térmico seco, temperaturas medias anuales cambian entre 12 y 22 °C.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL
APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22/09/ 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Willian Fernando Trujillo Castillo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título por optar: Físico
f. Analista de Biblioteca responsable: