

Uso de Minimización Irrestrita de una Función Espectral para Estimar la Zona Visible en Matlab 19.0

Quispe, Reynaldo^{1*} ; Juli, Verónica² 

¹Universidad Nacional José María Arguedas, Departamento Académico de Ciencias Básicas, Andahuaylas, Perú.

²Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Departamento Académico de Física, Arequipa, Perú.

Resumen: Debido a la simplicidad y amplia aplicabilidad, la minimización irrestrita en la zona visible (Vis) es una herramienta importante para resolver muchos problemas de optimización de parámetros y condiciones operativas de sistemas fotovoltaicos. El propósito de este trabajo es usar la minimización irrestrita de una función objetivo simplificada ζ para estimar la zona Vis. Utilizamos el método cuantitativo y técnica documental, con una muestra de 34 datos experimentales Vis de la estación de la Universidad Heredia. Se utilizó el Software Matlab 19.0 y se aplicó el método paramétrico: minimización de un modelo matemático mediante el algoritmo básico con corrección de Armijo mediante el backtracking. El resultado obtenido es un optimizador factible de ζ en 33 iteraciones, la cual determinó un modelo de transferencia de la zona Vis de turbidez por aerosoles (β) $3,69 \times 10^{-2}$ y capa de ozono (l) $57,40 \times 10^{-2}$ cm con parámetros estadísticos de incertidumbre 0,132%, 2,066% para el error de sesgo medio relativo (rMBE) y error cuadrático medio relativo (rRMSE) respectivamente. Se concluyó que la atmósfera de la Universidad Heredia presenta un cielo blanco alternado turbio sin agujero de ozono.

Palabras clave: Turbidez por aerosoles, función espectral, corrección de Armijo, zona Vis, minimización irrestrita

Use of Unrestricted Minimization of a Spectral Function to Estimate the Visible Zone in Matlab 19.0

Abstract: Due to the simplicity and wide applicability, unrestricted minimization in the visible zone (Vis) is an important tool to solve many optimization problems of parameters and operating conditions of photovoltaic systems. The purpose of this work is to use unrestricted minimization of a simplified objective function ξ to estimate the Vis zone. We used a quantitative method and a documentary technique, analyzing a sample of 34 Vis experimental data from the Heredia University station. The parametric method was applied by means of the Matlab 19.0 Software, specifically through the minimization of a mathematical model employing the basic algorithm with Armijo correction using backtracking. The result obtained is a feasible optimizer of ξ in 33 iterations, which determined a transfer model of the Vis zone of aerosol turbidity (β) 3.69×10^{-2} and ozone layer (l) 57.40×10^{-2} cm with statistical parameters of uncertainty 0.132%, 2.066% for the relative mean bias error (rMBE) and relative root mean square error (rRMSE) respectively. It is concluded that the atmosphere of the Heredia University presents a cloudy alternating white sky without an ozone hole.

Keywords: Aerosol turbidity, spectral function, Armijo correction, Vis zone, unrestricted minimization

1. INTRODUCCIÓN

La minimización irrestrita desempeña un papel crucial en la Zona Vis, especialmente en la optimización de sistemas de energía integrados híbridos que combinan fuentes de energía eólica, solar y térmica. En este contexto, se utiliza para ajustar los parámetros del sistema y maximizar la producción de energía mientras se minimizan los costos operativos (Cox et al., 2023). Además, es fundamental en la extracción precisa de

parámetros de modelos fotovoltaicos (Farag et al., 2023), lo que mejora la capacidad de prever el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos en diversas condiciones (Paixão et al., 2023). En este trabajo, planteamos el método de minimización irrestrita de una función espectral no lineal de restricciones de desigualdad basada en mediciones de radiación Vis y un modelo de transferencia de radiación Vis, para calcular el coeficiente de turbidez atmosférica por aerosoles de la zona Vis.

*rrquispe@unajma.edu.pe

Recibido: 22/11/2023

Aceptado: 24/07/2024

Publicado en línea: 31/08/2024

10.33333/tp.vol54n1.09

CC 4.0

1.1 Antecedentes

Debido a la naturaleza computacional de la resolución de problemas de minimización, se revisaron los métodos iterativos: descenso de gradiente, Newton-Raphson y el gradiente conjugado de Fletcher-Reeves para la optimización sin restricciones utilizando dos funciones que pertenecen a una clase de funciones de Rosenbrock (Aliyeva et al., 2022). Para resolver los problemas de programación cuadrática (QPP), se propuso un lagrangiano implícito para la clasificación a través de un problema de minimización convexo sin restricciones. Las soluciones a las variables duales se obtienen utilizando esquemas iterativos de enfoques de aproximación suave que contienen funciones no diferenciables (Emiola & Adem, 2021).

Si la función objetivo no es cercana a una cuadrática, la dirección de búsqueda es generada por un modelo cónico bajo condiciones apropiadas que posee la propiedad de descenso suficiente en el que la dirección de búsqueda es calculada minimizando un modelo aproximado seleccionado en un subespacio bidimensional (Borah & Gupta, 2020). La tasa de convergencia del subespacio gradiente de rango constante obtiene convergencia más rápida mediante un parámetro que controla el decaimiento de la norma de gradiente para funciones convexas y de Lipschitz, en comparación a versiones conocidas de descenso de gradiente ruidoso (estocástico) (Li et al., 2019).

La formulación de un problema de optimización sin restricciones tiene como objetivo minimizar la probabilidad de interrupción en las comunicaciones bidireccionales, con respecto a la ubicación del relé y asignación de tiempo para la recolección de energía. Además, se observa como la tasa objetivo de transmisión influye en la probabilidad de interrupción y eficiencia espectral del sistema de comunicación que utiliza el protocolo híbrido de retransmisión de conmutación de potencia y tiempo (Kairouz et al., 2020). Un problema de minimización sin restricciones "diferenciable" (problema de mínimos cuadrados) está asociado con un sistema de ecuaciones no lineales, con función objetivo, basada en la norma, y resuelta mediante la minimización de la suma de los cuadrados de los residuos. Asimismo, subgradientes iterativos de la función objetivo es calculada mediante problemas de minimización sin restricciones, para la resolución de los problemas asociados (Ghosh et al., 2019).

Cuando la restricción de la función objetivo en el camino de búsqueda proyectada no es diferenciable. Se proponen los métodos de conjunto activo de aproximación cuasi-Newton y de punto interior primal dual para la búsqueda de línea cuasi-Wolfe sustancialmente eficiente y confiable (Stefanov, 2021).

La zona Vis es de vital importancia en la búsqueda de material fototérmico rentable, el diseño de una tela de almacenamiento solar visible, logra una alta eficiencia energética de liberación de calor (83 °C) de aproximadamente 4,8% bajo la luz solar, lo que puede proteger el cuerpo humano de lesiones por frío causadas por un brazalete autocalentable (Fei et al., 2021). En la región Vis 430 ~ 627 THz, un metamaterial absorbente

(MA) muestra una absorptividad superior al 80%, mejorando la eficiencia de las células solares, esto debido a la movilidad de fotones significativos de conversión y absorción que pueden integrarse a la tecnología de células solares (Hoque & Islam, 2020).

A causa de la región visible, el espectro polarímetro visible del Telescopio Solar Daniel K. Inouye (DKIST) es capaz de observar regiones solares de hasta un área de 120×78 arcsec² dentro del rango de 380 a 900 nm del espectro solar, lo que permite realizar estudios espectro polarimétricos bien establecidos de la estructura magnética y la dinámica del plasma de la atmósfera solar, así como investigaciones completamente novedosas del espectro solar (de Wijn et al., 2022). En la teledetección satelital, el trayecto de un rayo de radiación Vis desde el Sol hasta el objetivo (superficies terrestres o marinas) y el sensor se ven fuertemente afectados por la presencia de la atmósfera (Basith et al., 2019).

Para desarrollar un modelo de zona de banda ancha Vis, es necesario herramientas de medición para recopilar datos y técnicas de modelado para simulaciones de la radiación de longitudes de onda larga (Di Pietro, 2022). Sin embargo, debido a las incertidumbres de sus cálculos se necesitan saber sobre cómo los cambios de Vis afectarían a los seres humanos y ecosistemas. El modelo de atenuación de los componentes rojo, verde y azul (RGB) de la radiación solar Vis, determinó que los coeficientes de atenuación promedio tienden a la unidad en el rango, desde la dispersión de Rayleigh hasta la dispersión de la luz en una niebla intensa de una atmósfera contaminada (Aliyeva, et al., 2022). La naturaleza estocástica de la radiación solar Vis hace que esta sea difícil de modelar dificultando su fiabilidad mediante una metodología robusta y fácil de usar para simular Vis se podría determinar un modelo solar capaz de evaluar un sistema de energía integrado con energía solar (Abunima et al., 2019).

Por otro parte, un buen conocimiento del parámetro de atenuación de la radiación Vis, turbidez atmosférica por aerosoles permitió explicar la histórica erupción volcánica del Monte Pinatubo (1991), el Niño (1998), un evento de humo de biomasa sin precedentes (1998) y la Niña que causó la sequía más severa registrada en la historia de Texas (2011) (Mims, 2022).

1.2 Importancia de la Minimización Irrestringida

El método de minimización irrestringida de funciones es fundamental en numerosas áreas de investigación y aplicación como el diseño de dispositivos fototérmicos avanzados, la minimización de costos (Upadhyay et al., 2019), detección de objetos en un entorno sin restricciones, minimización de circuitos (Ilango et al., 2020), diseño óptimo de un cuantificador polar no restringido (Wu & Dumitrescu, 2020), el problema de ubicación de instalaciones distribuidas (Filos-Ratsikas et al., 2023), aprendizaje de clasificadores de la Red de Markov (MN) sin restricciones (Franc et al., 2021), sistema de estacionamiento que hace que el movimiento de los vehículos en movimiento sea irrestringido (Manoharan et al., 2021), informática distribuida (Drozdowski & Shakhlevich,

2021), el problema de ubicar instalaciones desagradables (Alamatsaz et al., 2021), etc.

1.3 Relación de la minimización irrestrita y la Zona Vis: Aplicaciones y Relevancia

Los métodos de minimización irrestrita permiten hacer visible información oculta en los datos de condiciones óptimas, lo que posibilita así una mejor comprensión y manipulación de los sistemas fotovoltaicos (PV) (Duan et al., 2023). La zona Vis representa el rango de parámetros y condiciones en el que se puede operar eficazmente un PV, mientras que la minimización irrestrita permite explorar y optimizar este espacio de manera eficiente.

Se propone la aplicación de un algoritmo novedoso y eficiente, basado en el flujo turbulento de optimización a base de agua para resolver problemas de flujo de potencia óptimo en redes de energía con energía solar fotovoltaica y unidades de turbina eólica. La minimización irrestrita juega un papel importante en la determinación de las configuraciones óptimas de la red de energía, mientras que la Zona Vis se refiere a las restricciones y consideraciones sobre la generación de energía solar y eólica en ubicaciones específicas (Alghamdi, 2023).

La extracción de parámetros de modelos fotovoltaicos presenta algoritmos de optimización avanzados. La minimización irrestrita se aplica en la búsqueda de los parámetros óptimos del modelo, mientras que la Zona Vis influye en la generación de datos de entrada del modelo, como la irradiancia solar y la velocidad del viento (Eslami et al., 2022).

El desarrollo de un modelo de programación para optimizar la energía de una concentración de energía solar de un sistema fotovoltaico (PV). La minimización irrestrita se utiliza para maximizar las ganancias y determinar un calendario de energía rentable, mientras que la Zona Vis se refiere a las fluctuaciones en la disponibilidad de energía solar y eólica a lo largo del tiempo (Hamilton et al., 2020).

La propuesta de un modelo de soporte vectorial no lineal con una función de penalización estricta para pronosticar la radiación solar. Aquí, la minimización irrestrita se aplica en la optimización de los parámetros del modelo para mejorar la precisión del pronóstico, mientras que la Zona Vis se refiere a la variabilidad en la radiación solar, influenciada por factores meteorológicos (Jiang & Dong, 2016).

Estos estudios demuestran la importancia de considerar tanto los aspectos de optimización como las características específicas del entorno, como la disponibilidad de recursos solares y eólicos, en el diseño y la operación de sistemas de energía renovable.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Modelo de transferencia de la zona Vis

El modelo físico de intensidad de radiación Vis (i_λ) en ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$) para longitudes de onda (λ) en la zona $0,445 \mu\text{m} \leq \lambda \leq$

$0,610 \mu\text{m}$ atenuada que llega directamente a la superficie de la Tierra, considera rayos monocromáticos extraterrestres (i_o) en ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$) incidentes sobre la atmósfera alta, que varían debido a que esta capa está compuesta de aerosoles, ozono y vapor de agua distribuidos irregularmente en todo su volumen, produciendo efectos simultáneos combinados de transmitancias independientes (vea la Ecuación 1) de dispersión Rayleigh (t_r), absorción por ozono (t_o), aerosoles (t_a) y vapor de agua (t_w) (Lisenko, 2018).

$$i_\lambda(\lambda, l, \beta, w) = (r/r_o)^2 i_o(\lambda) t_r t_o t_a t_w \quad (1)$$

Donde:

$r_o = 1.496 \times 10^8$ km, es la distancia media Sol-Tierra, r es el radio de órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol, en uno de sus focos (Stutzmann & Csoklich, 2022) y d es el número del día,

$$(r/r_o)^2 = [1 + 0.033 \cos(2\pi d/365)]^2 \quad (2)$$

La masa de aire relativa m_r , en función del ángulo cenital solar θ_z en grados (Bai & Zong, 2021) es:

$$m_r = [\cos \theta_z + 0.15(93,885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1} \quad (3)$$

La masa de ozono m_o , en función de la altura $h_o = 22$ km donde se da la máxima concentración de ozono es:

$$m_o = [(1 + h_o/6370)^{-1} / (\cos^2 \theta_z + 2h_o/6370)^{0.5}] \quad (4)$$

La masa de aire m_a , en función de la presión estándar $P_o = 1,013$ mb y la presión local P en mb,

$$m_a = m_r P / P_o \quad (\text{Lefèvre et al., 2013}). \quad (5)$$

Además,

$$t_\lambda(\lambda, m_a) = \exp(-m_a / [\lambda^4(115,641 - 1,335\lambda^{-2})]) \quad (6)$$

es llamada dispersión Rayleigh (Gueymard & Kambezidis, 2004),

$$t_{\lambda o}(k_{\lambda o}, l, m_o) = \exp(-k_{\lambda o} l m_o) \quad (\text{Zo et al., 2014}), \quad (7)$$

siendo $k_{\lambda o}$ el coeficiente de absorción de ozono en cm^{-1} , l el espesor de ozono en cm,

$$t_{\lambda a}(\lambda, \beta, m_a) = \exp(-\lambda^{-\alpha} \beta m_a) \quad (\text{Costa et al., 2012}), \quad (8)$$

siendo β el coeficiente de turbidez por aerosoles sin unidades, $\alpha = 102,74 \times 10^{-2}$ para $\lambda < 0,5 \mu\text{m}$ y $\alpha = 1,206$ para $\lambda > 0,5 \mu\text{m}$, $k_{a\lambda}$ el coeficiente de absorción por aerosoles dada en cm^{-1} ,

$t_{\lambda w}(w, k_{\lambda w}, m_r) = \exp[-23,85 \times 10^{-2} w k_{\lambda w} m_r / (1 + 20,07 w k_{\lambda w} m_r)^{0,45}] \quad (9)$
siendo w el vapor de agua precipitable en cm y $k_{\lambda w}$ el coeficiente de absorción de vapor de agua sin unidades (Iqbal, 1983).

2.2 Tipo de atmósfera

Podemos clasificar a la atmósfera de acuerdo con la cantidad de pequeñas partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire cuyos tamaños están comprendidos entre $0,002$ y $100 \mu\text{m}$ de radio, pueden ser de procedencia terrestre (humos, polen, cenizas de erupciones volcánicas, incendios forestales, combustión de carbón, polvo, arena de tormentas, etc.) o de procedencia marina (cristales de sal, núcleos de sales higroscópicas en los que condensa el agua, aerosoles oceánicos) (Zakinyan & Zakinyan, 2023) y su distribución es determinada por el valor de β como muestra la Figura 1.

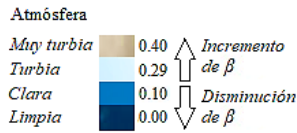


Figura 1. Grado de contaminación de una atmósfera (Wen et al., 2023)

2.3 Datos de investigación

Este trabajo fue realizado en los laboratorios del Departamento Académico de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional José María Arguedas en Andahuaylas del Perú en condiciones reguladas.

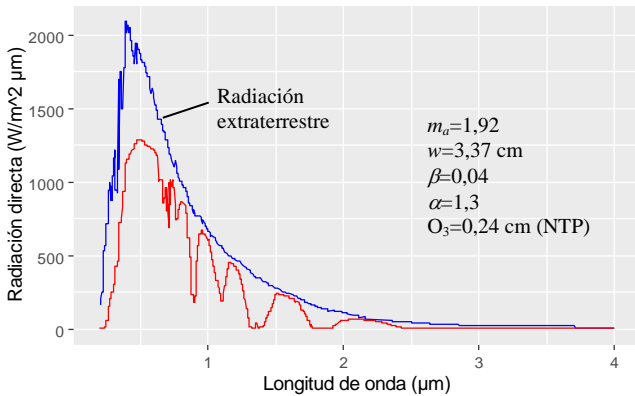


Figura 2. Banda espectral solar extraterrestre i_{λ_0} e incidente directa atenuada i_{λ_e} sobre la superficie terrestre (Wright, 2003)

Tabla 1. Datos experimentales de i_{λ_0} , i_{λ_e} (Wright, 2003), k_{λ_0} y k_{λ_w} (Iqbal, 1983)

λ (μm)	$i_{\lambda_0}(\lambda)$ ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)	i_{λ_e} ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)	k_{λ_0} (cm^{-1})	k_{λ_w}
0,450	208,852x10 ¹	103,261x10 ¹	0,003	0
0,450	203,469x10 ¹	114,130x10 ¹	0,003	0
0,455	201,316x10 ¹	115,217x10 ¹	0,004	0
0,460	200,239x10 ¹	117,391x10 ¹	0,006	0
0,465	199,163x10 ¹	118,478x10 ¹	0,008	0
0,470	198,086x10 ¹	119,565x10 ¹	0,009	0
0,475	194,856x10 ¹	119,565x10 ¹	0,012	0
0,480	192,703x10 ¹	120,652x10 ¹	0,014	0
0,485	190,550x10 ¹	122,826x10 ¹	0,021	0
0,490	192,703x10 ¹	122,826x10 ¹	0,021	0
0,495	191,627x10 ¹	123,913x10 ¹	0,025	0
0,500	192,703x10 ¹	125,000x10 ¹	0,030	0
0,505	189,474x10 ¹	126,087x10 ¹	0,035	0
0,510	187,321x10 ¹	127,174x10 ¹	0,040	0
0,515	190,550x10 ¹	127,174x10 ¹	0,045	0
0,520	186,244x10 ¹	128,261x10 ¹	0,048	0
0,525	181,938x10 ¹	129,348x10 ¹	0,057	0
0,530	188,397x10 ¹	130,435x10 ¹	0,063	0
0,535	190,550x10 ¹	130,435x10 ¹	0,070	0
0,540	189,474x10 ¹	130,435x10 ¹	0,075	0
0,545	188,397x10 ¹	129,348x10 ¹	0,080	0
0,550	187,321x10 ¹	129,348x10 ¹	0,085	0
0,555	188,397x10 ¹	129,348x10 ¹	0,095	0
0,560	185,167x10 ¹	128,261x10 ¹	0,103	0
0,565	183,014x10 ¹	128,261x10 ¹	0,110	0
0,570	184,091x10 ¹	128,261x10 ¹	0,120	0
0,575	181,938x10 ¹	127,174x10 ¹	0,122	0
0,580	179,785x10 ¹	127,174x10 ¹	0,120	0
0,585	178,708x10 ¹	128,261x10 ¹	0,118	0
0,590	177,632x10 ¹	127,174x10 ¹	0,115	0
0,595	175,478x10 ¹	126,087x10 ¹	0,120	0
0,600	174,402x10 ¹	125,000x10 ¹	0,125	0

0,605	173,325x10 ¹	125,000x10 ¹	0,130	0
0,610	171,172x10 ¹	125,000x10 ¹	0,120	0

La metodología de investigación empleó el método cuantitativo, con una muestra de 34 intensidades de la zona Vis (ver la Tabla 1), obtenida a partir de la técnica documental mediante el Software Paint a través del espectro de radiación directa (ver la Figura 2) registrado con el pirheliómetro Eppley de incidencia normal. La medición se realizó al aire libre, en el área del Departamento de Física de la Universidad Heredia, el 20 de Agosto del 2002, bajo condiciones de cielo despejado e iluminación de sol directa. Durante la medición, la temperatura osciló entre 20 y 40 grados Celsius, sensibilidad 8 mV/m², impedancia 200 Ω , linealidad $\pm 0.5\%$ de 0 a 2,800x10³ W/m² (Wright, 2003).

2.4 Modelo matemático

Planteamos el problema de optimización, definido como $\zeta: \mathfrak{R}^3 \rightarrow \mathfrak{R}$ con región de factibilidad $\vartheta = \{a \in \mathfrak{R}^3\}$ (Ferry et al., 2021).

$$\zeta(a) = \sum_{\lambda} [\mathcal{H}(a) - 1]^2 \quad (10)$$

$$a \in \mathfrak{R}^3.$$

Donde $\mathcal{H}(a) = i_{\lambda}(\lambda, a) / i_{\lambda_e}$ sin unidades, siendo $a = [a_1 \ a_2 \ a_3]^t = [l \ \beta \ w]^t$.

La Ecuación 10 es la función a minimizar y corresponde al problema de minimización sin restricciones.

A partir de la Tabla 1, se puede observar que $k_{\lambda_w} = 0$ para la zona Vis, se sustituye ese valor. En la Ecuación 9 se obtiene:

$$t_{\lambda_w}(w, (0), m_r) = \exp[-0,2385w(0)m_r / (1 + 20,07w(0)m_r)^{0,45}], \quad (11)$$

entonces,

$$t_{\lambda_w}(w, (0), m_r) = 1, \quad (12)$$

reemplazando la Ecuación 12 en la Ecuación 1 obtenemos,

$$i_{\lambda}(\lambda, l, \beta) = (r/r_0)^2 i_{\lambda_0}(\lambda) t_{\lambda_r}(\lambda, m_a) t_{\lambda_o}(k_{\lambda_0}, l, m_o) t_{\lambda_a}(\lambda, \beta, m_a), \quad (13)$$

esta ecuación reduce un grado de libertad en la Ecuación 10, se obtiene:

$$\zeta(a) = \sum_{\lambda} [\mathcal{H}(a) - 1]^2 \quad (14)$$

$$a \in \mathfrak{R}^2.$$

Con $a = [a_1 \ a_2]^t = [l \ \beta]^t$, queda la función objetivo simplificada a $\zeta: \mathfrak{R}^2 \rightarrow \mathfrak{R}$ con región de factibilidad $\vartheta = \{a \in \mathfrak{R}^2\}$ (Dwail & Shiker, 2020).

Cuando se obtiene un minimizador local a^* de la Ecuación 14, la diferencia entre los valores de $i_{\lambda}(\lambda, a)$ y i_{λ_e} se minimiza.

Una estrategia para resolver el problema de optimización sin restricciones es:

Paso 1: Resuelva el sistema de ecuaciones

$$\text{grad } \xi(a) = 0, \quad (15)$$

y obtenga una solución a^* .

Paso 2: Verificar si la matriz hessiana es a^* es definida positiva, es decir $\text{hessian } \xi(a) > 0$. Si fuera el caso, entonces a^* es un minimizador local estricto del problema de optimización.

Esta estrategia puede ser implementada en un programa en Matlab 19.0 mediante el Algoritmo básico con corrección de Armijo usando backtracking, dado de la forma:

Sean $\alpha \in (0, 1)$, $a^{(k)}$ y $d^{(k)}$, tal que

$$\text{grad } \zeta(a^{(k)})^t d^{(k)} < 0, \quad (16)$$

definir $\delta=1$.
Mientras

$$\zeta(a^{(k)} + \delta^k d^{(k)}) > \zeta(a^{(k)}) + \alpha \delta^k \text{grad } \zeta(a^{(k)})^t d^{(k)}, \quad (17)$$

escoger $\delta \in [0,1\delta; 0,9\delta]$, caso contrario, definir $\delta^{(k)} = \delta$
hacer $a^{(k+1)} = a^{(k)} + \delta^{(k)} d^{(k)}$.

2.5 Consideraciones y limitaciones del método de minimización irrestrita

La estrategia algoritmo básico con corrección de Armijo usando backtracking para la minimización irrestrita puede converger a mínimos locales a^* en lugar de mínimo global deseado, especialmente en funciones no convexas (ver la Ecuación 14). Además, son sensibles a las condiciones iniciales y pueden experimentar convergencia lenta, especialmente en problemas de alta dimensionalidad (grados de libertad). Requieren derivadas de la función objetivo (ver la Ecuación 16) y pueden ser computacionalmente costosos (ver la Figura 3), además de ser sensibles a la escala de las variables a y los criterios de terminación de la iteración (ver la Ecuación 17). La elección del algoritmo adecuado es crucial, ya que algunos pueden ser más robustos que otros frente al ruido o la presencia de múltiples mínimos locales.

2.6 Programa en Matlab 19.0

El algoritmo de Armijo implementado en el Software Matlab 19.0 a partir del problema matemático (ver la Ecuación 14) se obtiene un minimizador local a^* , este método controla la dirección del vector gradiente que hace que la función objetivo disminuya de modo que ζ siempre sea continua y diferenciable, basado en el diagrama (ver la Figura 3).

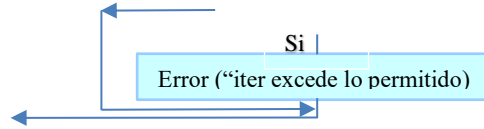


Figura 3. Diagrama de flujo del algoritmo de Armijo en Matlab 19.0

2.7 Parámetros de incertidumbre de la banda Vis

El error de sesgo medio relativo (rMBE) y error cuadrático medio relativo (rRMSE) (Masoom et al., 2020) de los valores de $i_\lambda(\lambda, a)$ son definidos como:

$$\text{rMBE} = (100/N) (\Sigma(i_{\lambda e} - i_\lambda(\lambda, a)) / i_{\lambda e, \text{prom}}), \quad (18)$$

y

$$\text{rRMSE} = (100/i_{\lambda e, \text{prom}}) (\sqrt{[(1/N) \Sigma(i_{\lambda e} - i_\lambda(\lambda, a))^2]}), \quad (19)$$

donde N es el número de datos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

En la Tabla 2, se presenta el optimizador a^* de ζ (ver la Ecuación 14) mediante la ejecución del algoritmo Armijo en Matlab 19.0 en 33 iteraciones (ver la Tabla 3).

También, es posible visualizar que los datos del optimizador a^* es característica de una atmósfera turbia que no posee adelgazamiento de la capa de ozono de cielo blanco alternado. A partir de los valores de l y β , solo β es preponderante en la zona Vis, esto se debe a que es principalmente atenuada por la presencia de aerosoles.

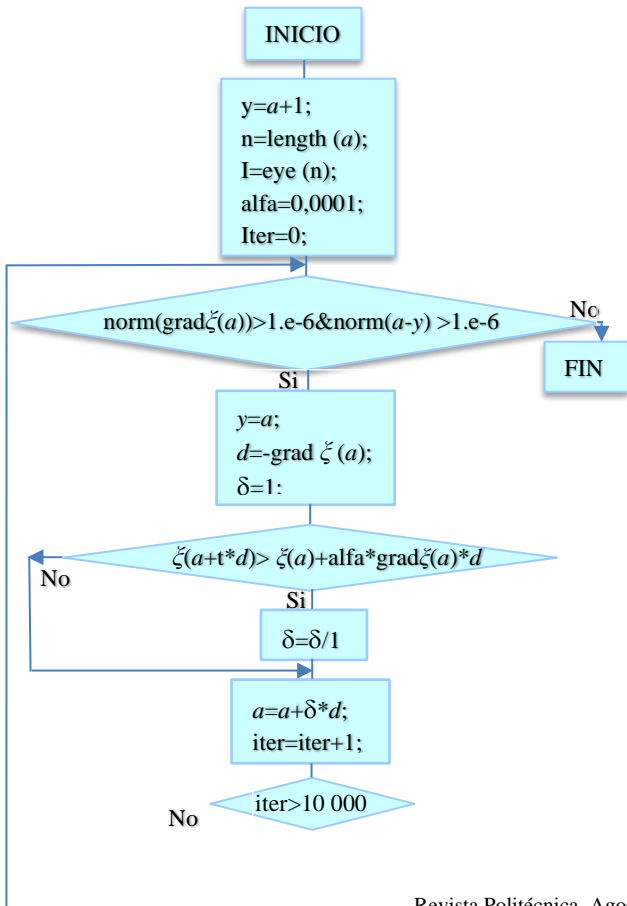
Tabla 2. Datos obtenidos del programa en Matlab 19.0, para estación del Departamento de Física de la Universidad Heredia

Optimizador	
$a^* = [a_1^* \ a_2^*] = a^{(33)} = [57,40 \times 10^{-2} \ 3,69 \times 10^{-2}]$	
Espesor de ozono	Coefficiente de turbidez por aerosoles
$a_1^* = l = 57,40 \times 10^{-2}$ cm	$a_2^* = \beta = 3,69 \times 10^{-2}$
Modelo de transferencia de la zona Vis	
$i_\lambda(\lambda, l, \beta, w)$	
$(r/r_0)^2 i_{\lambda_0}(\lambda) t_{\lambda_0}(\lambda, m_a) t_{\lambda_0}(k_{\lambda_0}; 57,40 \times 10^{-2}; m_o) t_{\lambda_0}(\lambda; 3,69 \times 10^{-2}; m_a)$	

Tabla 3. Valores factibles de a del programa en Matlab 19.0

Iter	$a^{(k)}$	Iter	$a^{(k)}$
0	(10,00; 20,00)x10 ⁻²	17	(3,79; 50,72)x10 ⁻²
1	(16,70; 31,78)x10 ⁻²	18	(3,76; 52,83)x10 ⁻²
2	(17,80; 30,27)x10 ⁻²	19	(3,74; 54,37)x10 ⁻²
3	(15,14; 29,86)x10 ⁻²	20	(3,72; 55,46)x10 ⁻²
4	(12,06; 29,71)x10 ⁻²	21	(3,71; 56,20)x10 ⁻²
5	(9,30; 29,55)x10 ⁻²	22	(3,70; 56,69)x10 ⁻²
6	(7,42; 29,40)x10 ⁻²	23	(3,70; 57,00)x10 ⁻²
7	(6,14; 29,28)x10 ⁻²	24	(3,69; 57,18)x10 ⁻²
8	(5,30; 29,26)x10 ⁻²	25	(3,69; 57,28)x10 ⁻²
9	(4,78; 29,43)x10 ⁻²	26	(3,69; 57,34)x10 ⁻²
10	(4,46; 29,94)x10 ⁻²	27	(3,69; 57,37)x10 ⁻²
11	(4,27; 31,04)x10 ⁻²	28	(3,69; 57,38)x10 ⁻²
12	(4,15; 33,04)x10 ⁻²	29	(3,69; 57,39)x10 ⁻²
13	(4,06; 36,18)x10 ⁻²	30	(3,69; 57,39)x10 ⁻²
14	(3,97; 40,21)x10 ⁻²	31	(3,69; 57,39)x10 ⁻²
15	(3,90; 44,34)x10 ⁻²	32	(3,69; 57,40)x10 ⁻²
16	(3,84; 47,90)x10 ⁻²	33	(3,69; 57,40)x10 ⁻²

Como la función objetivo simplificada está definida como $\zeta: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, es posible graficarla. Mediante la Figura 4, se puede



visualizar que la mínima altura correspondería a $l=57,40 \times 10^{-2}$ cm y $\beta=3,69 \times 10^{-2}$.

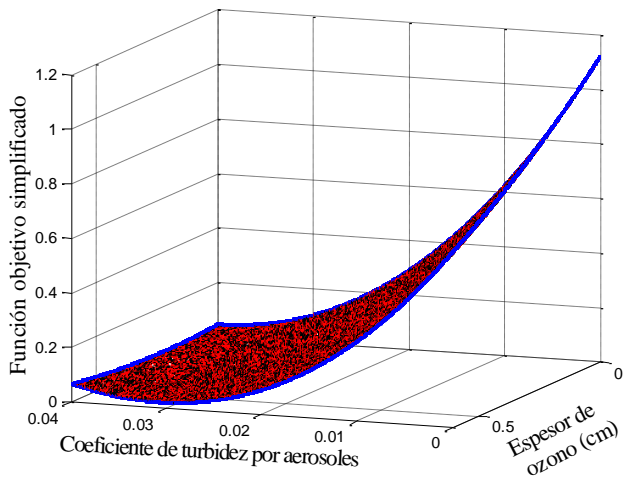


Figura 4. Ilustración de ζ en relación a l y β utilizando Matlab 19.0

Para corroborar esta afirmación mediante la Figura 5, ζ en función de β mantiene constante el dato optimizado de l . También, se visualiza que la función ζ tiene su menor altura en el rango $0 < \beta < 0,05$ llamado “restricción”. Nuestro dato optimizado a_2^* se encuentra dentro de ese rango. Finalmente, deseamos comparar los datos de radiación solar Vis experimental y teórica.

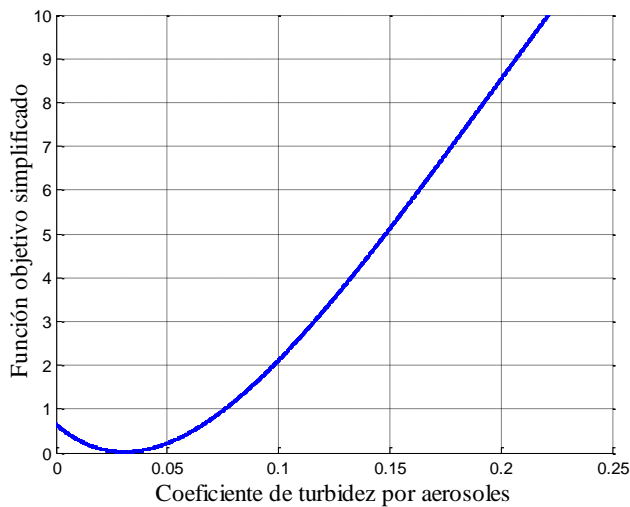


Figura 5. Ilustración de ζ en relación a β conservando constante $l=57,40 \times 10^{-2}$ cm utilizando Matlab 19.0

Mediante la Figura 6a, se visualiza que en la zona Vis existe una concordancia entre los datos empíricos y los calculados teóricamente.

La Figura 6b ilustra una visualización comparativa entre los rayos monocromáticos extraterrestres y los calculados teóricamente en la zona Vis. Además, se visualiza que en la zona Vis la i_{λ_0} directa es atenuada en su trayectoria por: dispersión de moléculas de aire (dispersión Rayleigh), absorción por aerosoles y capa de ozono, en su paso por la atmósfera, llegando i_{λ} a la superficie de la Tierra.

También, mostramos los resultados de los parámetros de incertidumbre del modelo de transferencia de la zona Vis en la Tabla 4. Igualmente, se observa que las incertidumbres son pequeñas, siendo un buen indicativo que el modelo de transferencia de radiación da una buena estimación de la zona Vis.

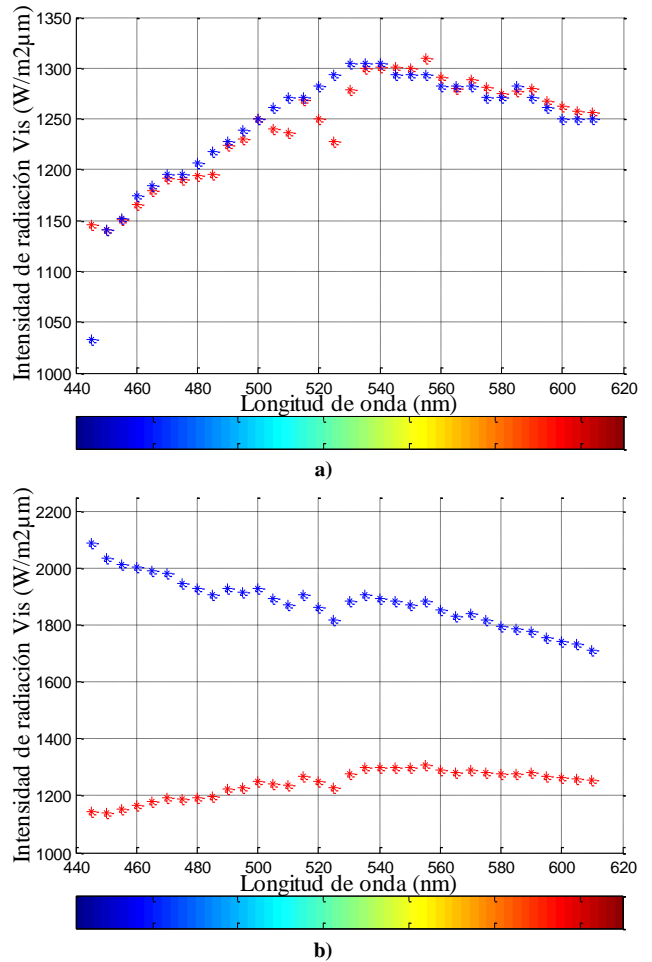


Figura 6. Visualización comparativa a) entre i_{λ_e} y i_{λ} , b) entre i_{λ_0} y i_{λ} utilizando Matlab 19.0

Tabla 4. Incertidumbre de los datos calculados de la zona Vis

rMBE	rRMSE
0,132%	2,066%

3.2 Discusión

El modelo desarrollado de radiación de la zona Vis, posee las herramientas de medición (Wright, 2003), recopilación de datos (Software Paint) y técnicas de modelado (Di Pietro, 2022) (algoritmo de Armijo). Los cálculos de l, β en Matlab 19.0 permiten saber cómo cambia la radiación Vis, con un sesgo pequeño (Masoom et al., 2020).

El optimizador obtenido por la técnica algoritmo básico con corrección de Armijo usando backtracking, en este trabajo fue un optimizador global. Esto se debe a que mediante la Figura 4, se pudo buscar datos (ver la Tabla 3) dentro de la región de factibilidad del problema de optimización (ver la Ecuación 10), sin embargo, en general no siempre se podrá visualizar la

función objetivo, lo que limita a encontrar minimizadores locales.

Los resultados obtenidos a través del enfoque de minimización irrestrita en la optimización de parámetros l , β del modelo de la función objetivo simplificada en la zona Vis han demostrado ser válidos y robustos en varios aspectos. La validez de los resultados se sustenta en la mejora de la precisión y robustez en la estimación de algunos parámetros del modelo fotovoltaico de Dan (Duan et al., 2023). Esta mejora en la precisión contribuye a una extracción más confiable de los parámetros tanto la zona Vis como de módulos fotovoltaicos, lo que sugiere que el enfoque de minimización irrestrita es efectivo en mejorar la calidad de los resultados obtenidos. Debido a que nuestra función objetivo simplificada tuvo baja dimensionalidad, su convergencia fue rápida en comparación con la de los modelos de Premkumar y Li (Li et al., 2023; Premkumar et al., 2023).

Una posible fuente de error fue la sensibilidad a la escala de las variables l , β y los criterios del algoritmo de Armijo respecto a la terminación de la iteración, que afectó la convergencia del algoritmo y por ende la precisión de los resultados. El algoritmo de minimización irrestrita pudo ser sensible a las variaciones de las condiciones iniciales provocando soluciones muy diferentes, lo que podría afectar la precisión de la estimación de los parámetros del modelo de la zona Vis.

Se sugiere establecer la técnica de algoritmo de Armijo para el diseño de procesamiento de optimización de datos de la zona Vis, esto puede implicar el uso de sensores, controladores, software y hardware especializado con el fin de lograr resultados más favorables.

CONCLUSIONES

Conforme con los hallazgos obtenidos, se deduce que se logró estimar la Zona Visible mediante el cálculo de modelos: transferencia de la zona Vis, modelo matemático “función objetivo simplificada” y uso de la técnica “algoritmo básico con corrección de Armijo usando backtracking”. Mediante la implementación del algoritmo de Armijo en un programa en el Software Matlab 19.0, se obtuvo un minimizador local a^* de una función objetivo sin restricciones. A partir de los datos de minimizador, concluimos que los datos empíricos de radiación de la zona Vis pertenecen a una atmósfera sin agujero de ozono con cielo blanco alternado turbio para la estación del Departamento Académico de la Universidad de Heredia. La ilustración de ζ en relación con β permite determinar la restricción del valor del coeficiente de turbidez por aerosoles, el cual podría ser utilizado para el uso del método de optimización con restricciones de desigualdad.

REFERENCIAS

- Abunima, H., Teh, J., & Jabir, H. J. (2019). A new solar radiation model for a power system reliability study. *IEEE Access*, 7, 64758–64766. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2916168>
- Alamatsaz, K., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Iranpoor, M. (2021). Minimal covering unrestricted location of obnoxious facilities: bi-objective formulation and a case study. *OPSEARCH*, 58(2), 351–373. <https://doi.org/10.1007/s12597-020-00487-0>
- Alghamdi, A. S. (2023). Optimal Power Flow of Hybrid Wind/Solar/Thermal Energy Integrated Power Systems Considering Costs and Emissions via a Novel and Efficient Search Optimization Algorithm. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/app13084760>
- Aliyeva, Y. N., Mammadova, K. A., & Huseynova, A. N. (2022). A Theoretical Model of RGB Attenuation of Solar Radiation Components Under Strong Aerosol Pollution of the Atmosphere. *Aerosol Science and Engineering*, 1-4. <https://doi.org/10.1007/s41810-021-00120-7>
- Bai, J., & Zong, X. (2021). Global solar radiation transfer and its loss in the atmosphere. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/app11062651>
- Basith, A., Ulin Nuha, M., Prastyani, R., & Winarso, G. (2019). COMMUNICATIONS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY Aerosol optical depth (AOD) retrieval for atmospheric correction in Landsat-8 imagery using second simulation of a satellite signal in the solar spectrum-vector (6SV). In *Communications in Science and Technology* (Vol. 4, Issue 2). <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Bosca Berga, J. V. (1995). *Contribucion al estudio de la radiacion solar y de la determinacion de la turbiedad atmosferica. Aplicacion a Valencia y Sevilla*. [Universitat Politècnica de València]. In *Riunet*. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/4502>
- Borah, P., & Gupta, D. (2020). Unconstrained convex minimization based implicit Lagrangian twin extreme learning machine for classification (ULTELMC). *Applied Intelligence*, 50(4), 1327–1344. <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01596-0>
- Costa, R. S., Martins, F. R., & Pereira, E. B. (2012). Aerossóis atmosféricos e a quantificação do recurso energético solar: experimentos em modelo de transferência radiativa. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 3(1), 62–62. <https://doi.org/10.59627/rbens.2012v3i1.79>
- Cox, J. L., Hamilton, W. T., Newman, A. M., Wagner, M. J., & Zolan, A. J. (2023). Real-time dispatch optimization for concentrating solar power with thermal energy storage. *Optimization and Engineering*, 24(2), 847–884. <https://doi.org/10.1007/s11081-022-09711-w>
- de Wijn, A. G., Casini, R., Carlile, A., Lecinski, A. R., Sewell, S., Zmarzly, P., Eigenbrot, A. D., Beck, C., Wöger, F., & Knölker, M. (2022). The Visible Spectro-Polarimeter of the Daniel K. Inouye Solar Telescope. *Solar Physics*, 297(2). <https://doi.org/10.1007/s11207-022-01954-1>
- Di Pietro, S. (2022). Processes of urban transition to autonomous decentralized systems of renewable energy. *Estudios Demograficos y Urbanos*, 37(3), 807–837. <https://doi.org/10.24201/edu.v37i3.2073>
- Drozdowski, M., & Shakhlevich, N. V. (2021). Scheduling divisible loads with time and cost constraints. *Journal of*

- Scheduling*, 24(5), 507–521. <https://doi.org/10.1007/s10951-019-00626-6>
- Duan, Z., Yu, H., Zhang, Q., & Tian, L. (2023). Parameter Extraction of Solar Photovoltaic Model Based on Nutcracker Optimization Algorithm. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/app13116710>
- Dwail, H. H., & Shiker, M. A. K. (2020). Using a trust region method with nonmonotone technique to solve unrestricted optimization problem. *Journal of Physics: Conference Series*, 1664(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1664/1/012128>
- Emiola, I., Adem, R. (Junio, 2021). Comparison of Minimization Methods for Rosenbrock Functions. Work presented at 2021 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), PUGLIA, pp. 837-842. <https://doi.org/10.1109/MED51440.2021.9480200>
- Eslami, M., Akbari, E., Seyed Sadr, S. T., & Ibrahim, B. F. (2022). A novel hybrid algorithm based on rat swarm optimization and pattern search for parameter extraction of solar photovoltaic models. *Energy Science and Engineering*, 10(8), 2689–2713. <https://doi.org/10.1002/ese3.1160>
- Farag, M. M., Patel, N., Hamid, A. K., Adam, A. A., Bansal, R. C., Bettayeb, M., & Mehiri, A. (2023). An Optimized Fractional Nonlinear Synergic Controller for Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Array under Abrupt Irradiance Change. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 13(2), 305–314. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2023.3236808>
- Fei, L., Yin, Y., Yang, M., Zhang, S., & Wang, C. (2021). Wearable solar energy management based on visible solar thermal energy storage for full solar spectrum utilization. *Energy Storage Materials*, 42, 636–644. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.07.049>
- Ferry, M. W., Gill, P. E., Wong, E., & Zhang, M. (2021). *Projected-Search Methods for Bound-Constrained Optimization*. <http://arxiv.org/abs/2110.08359>
- Filos-Ratsikas, A., Kanellopoulos, P., Voudouris, A. A., & Zhang, R. (2023). *Settling the Distortion of Distributed Facility Location*. <http://arxiv.org/abs/2301.01604>
- Franc, V., Yermakov, A., Balasubramanian, V. N., & Tsang, I. (2021). Learning Maximum Margin Markov Networks from examples with missing labels. In *Proceedings of Machine Learning Research* (Vol. 157)
- Ghosh, S., Acharya, T., & Maity, S. P. (2019). On outage minimization in RF energy harvesting relay assisted bidirectional communication. *Wireless Networks*, 25(7), 3867–3881. <https://doi.org/10.1007/s11276-018-01924-1>
- Gueymard, C. A., & Kambezidis, H. D. (2004). SOLAR RADIATION AND DAYLIGHT MODELS. In *Solar Spectral Radiation* (pp. 221-301). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-075065974-1/50013-9>
- Hamilton, W. T., Husted, M. A., Newman, A. M., Braun, R. J., & Wagner, M. J. (2020). Dispatch optimization of concentrating solar power with utility-scale photovoltaics. *Optimization and Engineering*, 21(1), 335–369. <https://doi.org/10.1007/s11081-019-09449-y>
- Hoque, A., & Islam, M. T. (2020). Numerical Analysis of Single Negative Broadband Metamaterial Absorber Based on Tri Thin Layer Material in Visible Spectrum for Solar Cell Energy Harvesting. *Plasmonics*, 15(4), 1061–1069. <https://doi.org/10.1007/s11468-020-01132-8>
- Ilango, R., Loff, B., & Oliveira, I. C. (2020). NP-Hardness of circuit minimization for multi-output functions. *Leibniz International Proceedings in Informatics, LIPIcs*, 169. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.CCC.2020.22>
- Iqbal, M. (1983). A CLOUDLESS-SKY ATMOSPHERE AND ITS OPTICS. In *An Introduction to Solar Radiation* (pp. 85–105). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373750-2.50010-0>
- Jiang, H., & Dong, Y. (2016). A nonlinear support vector machine model with hard penalty function based on glowworm swarm optimization for forecasting daily global solar radiation. *Energy Conversion and Management*, 126, 991–1002. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.069>
- Kairouz, P., Ribero, M., Rush, K., & Thakurta, A. (2020). Fast dimension independent private adagrad on publicly estimated subspaces. *arXiv preprint arXiv:2008.06570*
- Lefèvre, M., Oumbe, A., Blanc, P., Espinar, B., Gschwind, B., Qu, Z., Wald, L., Schroedter-Homscheidt, M., Hoyer-Klick, C., Arola, A., Benedetti, A., Kaiser, J. W., & Morcrette, J. J. (2013). McClear: A new model estimating downwelling solar radiation at ground level in clear-sky conditions. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(9), 2403–2418. <https://doi.org/10.5194/amt-6-2403-2013>
- Li, J., Qin, C., Yang, C., Ai, B., & Zhou, Y. (2023). Extraction of Single Diode Model Parameters of Solar Cells and PV Modules by Combining an Intelligent Optimization Algorithm with Simplified Explicit Equation Based on Lambert W Function. *Energies*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/en16145425>
- Li, Y., Liu, Z., & Liu, H. (2019). A subspace minimization conjugate gradient method based on conic model for unconstrained optimization. *Computational and Applied Mathematics*, 38(1). <https://doi.org/10.1007/s40314-019-0779-7>
- Lisenko, S. A. (2018). Atmospheric correction of multispectral satellite images based on the solar radiation transfer approximation model. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 31(1), 72–85. <https://doi.org/10.1134/S1024856018010116>
- Manoharan, H., Teekaraman, Y., Kuppasamy, R., & Radhakrishnan, A. (2021). A Novel Optimal Robotized Parking System Using Advanced Wireless Sensor Network. *Journal of Sensors*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2889504>
- Masoom, A., Kosmopoulos, P., Bansal, A., & Kazadzis, S. (2020). Solar energy estimations in india using remote sensing technologies and validation with sun photometers in urban areas. *Remote Sensing*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/rs12020254>
- Mims, F. M. (2022). A 30-Year Climatology (1990-2020) of Aerosol Optical Depth and Total Column Water Vapor and Ozone over Texas. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(1), E101–E109. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0010.1>

- Paixão, D. F. S., Quirino, P. P. S., Fialho, R. L., Americano Da Costa, M. V., & Pontes, K. V. (2023). A dynamic optimization approach for a multi-effect desalination (MED) integrated with thermosolar storage system. *Solar Energy*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111837>
- Premkumar, M., Shankar, N., Sowmya, R., Jangir, P., Kumar, C., Abualigah, L., & Derebew, B. (2023). A reliable optimization framework for parameter identification of single-diode solar photovoltaic model using weighted velocity-guided grey wolf optimization algorithm and Lambert-W function. *IET Renewable Power Generation*, 17(11), 2711–2732. <https://doi.org/10.1049/rpg2.12792>
- Stefanov, S. M. (2021). Numerical solution of some systems of nonlinear algebraic equations. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 24(6), 1545–1564. <https://doi.org/10.1080/09720502.2020.1833462>
- Stutzmann, M., & Csoklich, C. (2022). *The Physics of Renewable Energy Graduate Texts in Physics*. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-17724-8>
- Upadhyay, V. A., Geisler, B. P., Sun, L., Uhl, L., Kaufman, R. M., Stowell, C., Makar, R. S., & Bendapudi, P. K. (2019). Utilizing a PLASMIC score-based approach in the management of suspected immune thrombotic thrombocytopenic purpura: a cost minimization analysis within the Harvard TMA Research Collaborative. *British Journal of Haematology*, 186(3), 490–498. <https://doi.org/10.1111/bjh.15932>
- Wen, T. H., Chuang, T. W., & Tipayamongkholgul, M. (Eds.). (2023). *Earth Data Analytics for Planetary Health*. Springer Nature
- Wright, J. (2003). Validación experimental de un modelo espectral para la radiación solar directa en condiciones de cielos claros. *Top. Meteor. Oceanog*, 10(2), 47–56.
- Wu, H., & Dumitrescu, S. (2020). Design of General Entropy-Constrained Successively Refinable Unrestricted Polar Quantizer. *IEEE Transactions on Communications*, 68(6), 3369–3385. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2020.2979113>
- Zakinyan, R., & Zakinyan, A. (Eds.). (2023). *Physics of the Atmosphere, Climatology and Environmental Monitoring*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-19012-4>
- Zo, I. S., Jee, J. B., & Lee, K. T. (2014). Development of GWNU (Gangneung-Wonju National University) one-layer transfer model for calculation of solar radiation distribution of the Korean peninsula. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 50(1), 575–584. <https://doi.org/10.1007/s13143-014-0047-0>

BIOGRAFÍAS



Reynaldo, Quispe, Licenciado en Física por la UNSA (2006), Magíster de la Escuela de Postgrado de Maestría en Educación mención: Investigación y Docencia en Educación Superior por la UANCV (2017), Maestro en Ciencias: con mención en Física por la UNSA (2022), realiza estudios de Postgrado de Maestría en Ciencias, Física aplicada a la Medicina y Radioprotección en la UNSA (2022), docente seleccionado por PMESUT del programa de capacitación en investigación científica (2022), docente seleccionado para la presentación de POSTER de un trabajo de investigación en la UNAMAD (2022), Diplomado de Especialización en Docencia de Educación Superior (2021).



Verónica, Juli, Estudiante de la Escuela Profesional de Física de la UNSA (2023), realiza trabajos de investigación en el Área de Energías Renovables, seleccionada para la presentación de POSTER de un trabajo de investigación en la UNAMAD (2022).

