

UNIDAD AUTOMÁTICA DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN UV E ÍNDICE UV TRANSPORTABLE DE USO CONTINUO.

AUTOMATIC TRANSPORTABLE UNIT FOR MEASURING THE UV RADIATION AND THE UV INDEX OF CONTINUOUS USE.

N. Urbano Pintos^{*1} y M.B. Lavorato¹

¹ Grupo TAMA - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo París 532 – (B1706EAH) Haedo, Prov. Buenos Aires – Argentina

Recibido: 27/11/2024 ; Aceptado: 20/05/2025

Se desarrollaron Radiómetros UV que operan con dos sensores midiendo en forma simultánea la Radiación UV (UVA + UVB) y el Índice UV. Para contar con los datos atmosféricos básicos, el dispositivo cuenta con una unidad meteorológica que mide en forma simultánea la Presión Atmosférica, la Temperatura y la Humedad Relativa Ambiente. El dispositivo de control, adquisición, resguardo de datos y comunicación vía WiFi que opera y controla los sensores es un módulo de desarrollo de Firmware abierto basado en ESP32 (NODEMCU32 ESP-WROOM-32s). Este Microcontrolador no solo opera y controla los sensores, sino que, además realiza tareas simultáneas de adquisición, cálculo y conversión de unidades. Asociado a éste, cuenta con un reloj de tiempo real y una memoria SD para el registro y salvaguarda de datos. Las señales adquiridas y preprocesadas son transmitidas a un dispositivo externo vía WiFi para la lectura de todas las señales adquiridas en tiempo real. Los resultados instantáneos, se podrán leer con cualquier sistema informático externo conectados a la misma red; dichos valores podrán ser visualizados por una Tablet, Notebook o Smartphone.

Palabras clave: Sensores, ESP32, Radiación UV, Índice UV, Smartphone.

A portable radiometer was developed with two sensors measuring total Ultraviolet Radiation (UVA + UVB) and UV Index. To obtain basic meteorological data, the radiometer has another device that simultaneously measures Atmospheric Pressure, Temperature, and Relative Humidity. The control, acquisition, data storage, and communication device with external devices is an open Firmware development module based on ESP32 (NODEMCU32 ESP-WROOM-32s). This Microcontroller not only operates and controls the sensors but also performs simultaneous tasks of acquisition, calculation, and conversion of units. A real-time clock and an SD unit were associated with it for data recording and saving. The acquired and preprocessed signals are transmitted to an external device via Bluetooth for reading the acquired signals in real-time. The instant results can be read with any external computer system that has a Bluetooth interface; said values can be viewed by a Tablet, Notebook, or Smartphone.

Keywords: Sensors, ESP32, UV Radiation, UV Index, Smartphone.

<https://doi.org/10.31527/analesafa.2025.36.2.36>



ISSN - (online)

urbano.nicolas@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La radiación ultravioleta (RUV), proveniente del sol, es una parte del espectro electromagnético que se divide en tres bandas principales: UVC (100-280 nm), UVB (280-320 nm) y UVA (320-400 nm). La radiación UVC, la más energética, es absorbida por la capa de ozono y no llega a la superficie terrestre. La radiación UVB, absorbida en gran parte por la atmósfera, es la responsable de las quemaduras de sol (eritema de piel) y del daño al ADN, lo que puede aumentar el riesgo de desarrollar cáncer de piel. La radiación UVA, con mayor longitud de onda, penetra profundamente en la piel, contribuyendo al envejecimiento prematuro.

La sensibilidad de la piel humana a las diferentes longitudes de onda de la RUV se describe mediante la curva eritémica (curva CIE) [1]. Esta curva muestra que la piel es más susceptible a la radiación UVB. La ponderación de la radiación UV mediante la curva eritémica permite obtener la dosis eritémica, la cual se expresa en mW/m².

A pesar de que la RUV es fundamental para la síntesis de vitamina D, la exposición excesiva puede ocasionar efectos adversos en la salud. La OMS [2] junto con la Agencia de Protección Ambiental de USA [3] (EPA, por sus siglas en inglés) han desarrollado el Índice UV Solar Mundial (IUV) con el fin de informar a la población sobre el nivel de riesgo asociado a la exposición solar. Sin embargo, el índice UV que se comunica a través de los medios de comunicación, páginas web y/o aplicaciones meteorológicas se basa en las predicciones de modelos que utilizan datos satelitales, como por ejemplo el proyecto Copernicus[4]. Con la resolución espacial actual del modelo de pronóstico, los valores no son representativos de ubicaciones individuales. En cambio, proporcionan una estimación regional, ya que el modelado se basa en cuadrículas de alrededor de 40 km por lado.

El visor de índice UV de CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) [4] proporciona el valor máximo diario en función de pronósticos horarios. Esto difiere del intervalo de tiempo de 30 minutos recomendado por la OMS para los informes del IUV. Sin embargo, el modelo CAMS no capturaría ninguna variación a corto plazo en los parámetros de radiación, en particular ante la presencia de nubes. Además, debido a la gran cuadrícula espacial utilizada solo se proporciona un valor del parámetro de nubosidad por cada punto de cuadrícula del modelo de 40 km. La variabilidad a corto plazo de la nubosidad es el punto débil de todos los modelos meteorológicos.

Para una evaluación precisa de la exposición a la RUV, son esenciales las mediciones in situ en tiempo real. Esta necesidad se intensifica en entornos laborales donde los trabajadores están expuestos a la radiación solar durante largos períodos, como en la construcción u otras actividades al aire libre. Contar con un dispositivo portátil, autónomo y de bajo costo permitiría a los trabajadores y empleadores monitorear la exposición a la RUV en tiempo real, lo que facilitaría la toma de decisiones informadas sobre las medidas de protección necesarias.

La Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) de Argentina, a través de sus guías [5], enfatiza la importancia de concientizar a los trabajadores sobre los riesgos de la exposición a la RUV y promover prácticas seguras de protección solar. Estas prácticas incluyen:

- Cambios en el comportamiento: evitar trabajar al aire libre durante las horas de mayor intensidad de RUV.
- Protección física: uso de ropa adecuada, sombreros y gafas de sol.
- Uso de protector solar: aplicación regular de protector solar con filtro UV de nivel de protección alto.

Investigaciones realizadas en regiones diversas, como Colombia, Alemania y la Antártida, han utilizado dosímetros personales y algoritmos basados en datos satelitales para medir y analizar la dosis UV acumulada en distintos grupos ocupacionales. Los resultados evidencian la importancia de factores como la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y los comportamientos individuales en la exposición.

Este trabajo aborda el diseño, construcción y prueba de dispositivos portátiles y portables de bajo costo para la medición in situ de la RUV y la obtención del IUV en tiempo real. El dispositivo implementa un microcontrolador ESP32 con capacidad de comunicación inalámbrica, lo que permite la transmisión de datos a dispositivos móviles para su análisis y visualización. Se espera que este dispositivo contribuya a la prevención de los efectos nocivos de la RUV, especialmente en entornos laborales de alto riesgo.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

En la literatura, diversos trabajos han abordado el diseño y desarrollo de dispositivos y sistemas para la medición de la exposición a la RUV, especialmente en entornos laborales [6] habiendo explorado el uso de sensores portátiles y algoritmos basados en datos satelitales para estimar la dosis UV recibida por la piel y los ojos. Además, se han propuesto soluciones que integran aplicaciones móviles para monitorear la posición geográfica, la postura corporal y las condiciones ambientales, proporcionando advertencias en tiempo real. Sin embargo, la mayoría de estas propuestas se centran únicamente en el cálculo del Índice UV, dejando de lado una evaluación precisa de la dosis eritémica, que requiere un enfoque más complejo con integración de múltiples fuentes de información y sensores especializados. Esto destaca la necesidad de desarrollar sistemas más completos que combinen mediciones directas y datos satelitales, junto con algoritmos avanzados, para garantizar estimaciones precisas y en tiempo real de la exposición a la RUV en aplicaciones prácticas.

Se ha utilizado el sistema de medición GENESIS-UV [7] para comparar condiciones de exposición entre países con climas tropicales y templados, como es el caso de Colombia y Alemania. En este trabajo se han implementado dosímetros

electrónicos para recopilar datos detallados sobre la dosis de RUV recibida por los trabajadores durante períodos prolongados. Los resultados han evidenciado variaciones en la exposición según la estación del año y el comportamiento de los trabajadores, con efectos más estables en climas tropicales y fluctuaciones significativas en climas templados. Además, investigaciones previas han subrayado la necesidad de implementar medidas preventivas específicas para reducir los riesgos asociados a la exposición prolongada a RUV, especialmente en actividades al aire libre como la construcción de carreteras. Estos estudios destacan la importancia de una acción global coordinada para mitigar los riesgos de cáncer de piel derivados de la sobre-exposición ocupacional a la radiación solar.

Un estudio realizado en la Base Antártica Búlgara [8] evaluó las dosis acumuladas de RUV recibidas por trabajadores al aire libre, utilizando dosímetros personales calibrados específicamente para esta región. En este contexto, se midió la dosis eritémica estándar (SED en inglés) en dos grupos: científicos y trabajadores logísticos. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en las dosis de RUV acumuladas entre ambos grupos, aunque se detectaron valores extremos, con una dosis máxima diaria de 67.9 SEDs y una acumulativa de 548.03 SEDs. Estos hallazgos destacan la necesidad de implementar estrictas medidas de protección contra la RUV para mitigar los riesgos asociados con la exposición prolongada a estas radiaciones en condiciones extremas, subrayando la vulnerabilidad de los trabajadores en dichas áreas.

III. EXPERIMENTACIÓN

Desarrollo de Instrumental

Los equipos comerciales resultan ser extremadamente costosos y como nuestro propósito es realizar un mapa de RUV en diferentes zonas del país, vamos a necesitar muchos de ellos; esto representa un presupuesto inalcanzable, de allí la necesidad de desarrollar nuestros propios instrumentos que midan la RUVE (Radiación UV dosis Eritémica) y así, determinar el Índice UV correspondiente.

El instrumento cuenta con el microcontrolador ESP32 [9] con un Procesador Tensilica Xtensa 32bits LX6 hasta 240MHz, Bluetooth: v4.2 BR/EDR y Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi: 802.11b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 Ghz hasta 150 Mbit/s), memoria Flash embebida: 4 MiB (ESP32-PICO-D4 SIP module), periféricos compatibles: ADC, DAC, I2C, UART, Interfaz CAN 2.0, SPI, I2S, RMII y PWM entre otros.

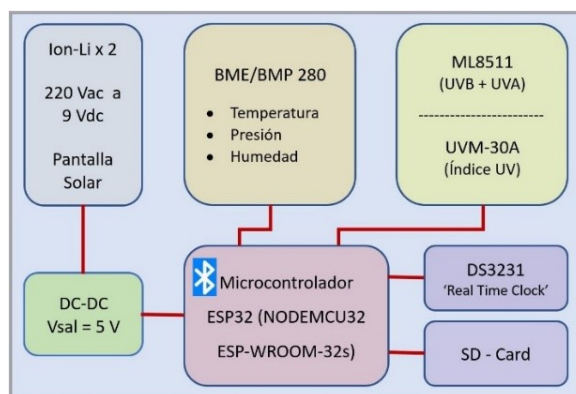


FIG. 1: Diagrama esquemático del Prototipo Implementado



FIG. 2: Radiómetro Transportable

El dispositivo construido (ver Fig. 1) cuenta con una fuente de 'switching' con salida de 5 V estabilizados para la alimentación del ESP32, a la entrada se le pueden conectar: dos baterías de Ion-Li, una fuente regulada 220 – 9 V, una pantalla Solar o una combinación entre ellas. Los sensores UV son el ML8511[10] (calibrado en mW/cm2) que mide la columna total de Radiación UV (UVB + UVA) y el UVM-30A[11, 12] calibrado en IUUV. Como accesorios se agregó el

DS3231 (reloj de tiempo real), el BME/BMP280 sensor de Temperatura, Presión y Humedad relativa y un dispositivo SD-Card para el registro histórico de datos ('backup'). El acceso a los datos instantáneos de IUV y meteorológicos es vía Bluetooth; a través de un smartphone, tablet o notebook (ver Fig. 2). El sensor meteorológico, por razones operativas, se encuentra conectado a menos de 1 m del microcontrolador y en un sector aireado cubierto del sol; mientras que los Sensores UV se encuentran conectados en una caja estanca a través de cables de 15 m de longitud. En la Fig. 3 se observa el prototipo inicial de la unidad de medición portátil. En este caso se muestra el prototipo original que opera con un Arduino Nano alimentado con dos baterías de Ion-Li. En la actualidad este modelo está siendo modificado y va a operar con el ESP-32.

Para su operación se diseñó una aplicación Android 'ad-hoc', gracias al MIT app Inventor[13]. La misma que se conecta por bluetooth al dispositivo de medición. Esta aplicación permite visualizar en tiempo real los datos de radiación UV, índice UV, datos meteorológicos.

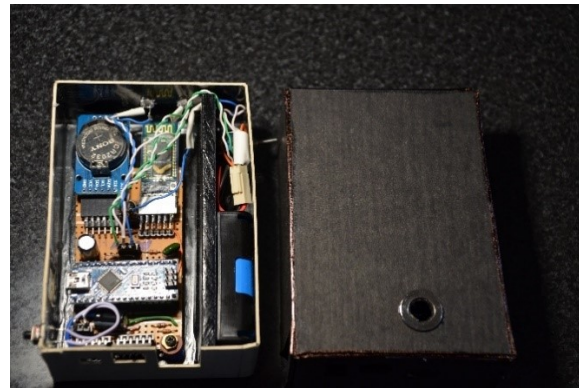


FIG. 3: Prototipo funcional de unidad portátil

Finalmente todo queda registrado en una SD card. En la Fig. 4 se observa una captura de pantalla de la aplicación. La misma se controla a través de la pantalla táctil de un Smartphone o tablet. La aplicación permite conectarse a diferentes unidades de medición, a su vez también tiene un indicador de tensión de la batería del dispositivo portátil.



FIG. 4: App en Android para el monitoreo de datos

Medición en Campo

En el presente trabajo se muestran algunos de los resultados obtenidos del 16 al 25 de marzo del 2024 con el Radiómetro Transportable, desarrollado por el Grupo TAMA de la UTN-FR Haedo, en la Provincia de San Luis, en la localidad de Carpintería a pocos kilómetros de la ciudad de Merlo a 1300 m de altura sobre una de las laderas de los Montes Comechingones (Fig. 2). El instrumento desarrollado fue diseñado para operar de manera autónoma dando como resultados el Índice UV instantáneo, el valor en densidad de potencia de la radiación UV total (UVB + UVA) y los datos meteorológicos básicos 'in situ'.

IV. RESULTADOS

Se realizaron varias series de mediciones diarias aprovechando las condiciones climáticas favorables durante la semana del 16 al 25 de abril del 2024, Hay observaciones con el cielo completamente despejado y con nubosidad variable (con

intermitencias de nubes). En la Fig. 5, correspondiente al 25/03, se muestran las señales adquiridas bajo condiciones de nubosidad variable, primero con nubes bajas, luego con nubes muy densas y finalmente con nubes a gran altura (cirrus).

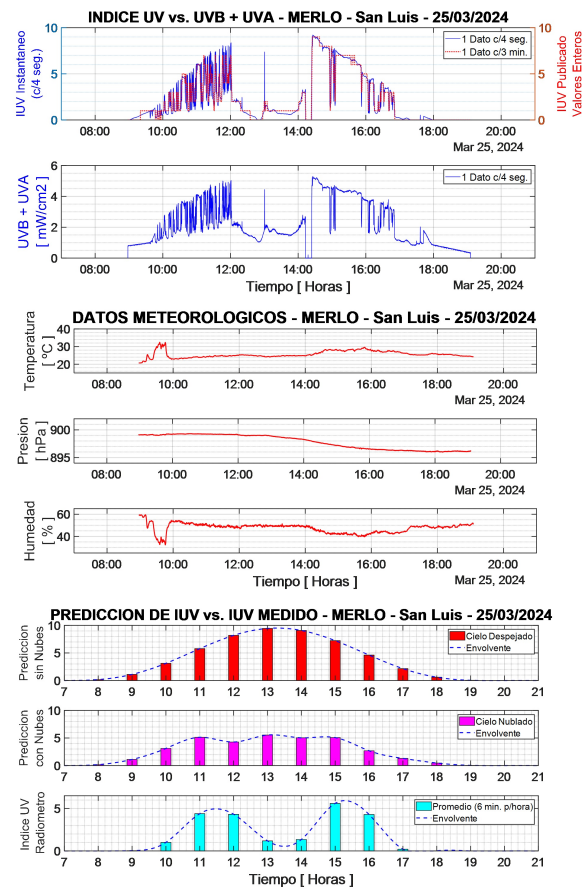


FIG. 5: Resultados obtenidos el 25/03/2024 en Carpintería – San Luis a 1350 metros de altitud con los datos meteorológicos locales y la predicción del SMN con Cielo nublado.

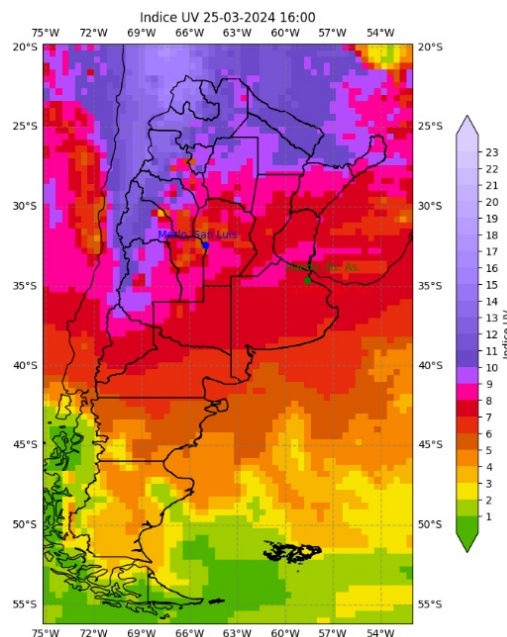


FIG. 6: Mapa del IUUV en la Argentina para el 25/03/2024 al mediodía solar (13:00 hs. – 16:00 UTC).

Podemos observar la evolución temporal del IUUV instantáneo promediados cada 3 min, versus la densidad de potencia UV total, los parámetros meteorológicos: temperatura, presión y humedad y finalmente, el Índice UV publicado en la Web por el SMN[14] versus el IUUV medido (con el mismo formato de 1 dato por hora). Cuando hay nubosidad variable,

la predicción propuesta por el SMN basado en el modelo del Proyecto Copernicus no es para nada preciso, es más, en las mediciones reales encontramos picos de radiación del IUV entre 8 y 9 puntos, considerados peligrosos y en la predicción con nubes no aparece. La Fig. 6 muestra el mapa de IUV al mediodía solar en Argentina. En la Fig. 7 se observa la evolución temporal del IUV correspondiente al 24/03 con cielo completamente despejado durante todo el día, allí se muestran las señales donde podemos observar la evolución temporal del IUV instantáneo promediado cada 3 min. versus la densidad de potencia UV total, los parámetros meteorológicos: temperatura, presión y humedad y finalmente, el Índice UV publicado por el SMN versus el IUV medido (con el mismo formato con 1 dato por hora). La Fig. 8 a su vez, muestra

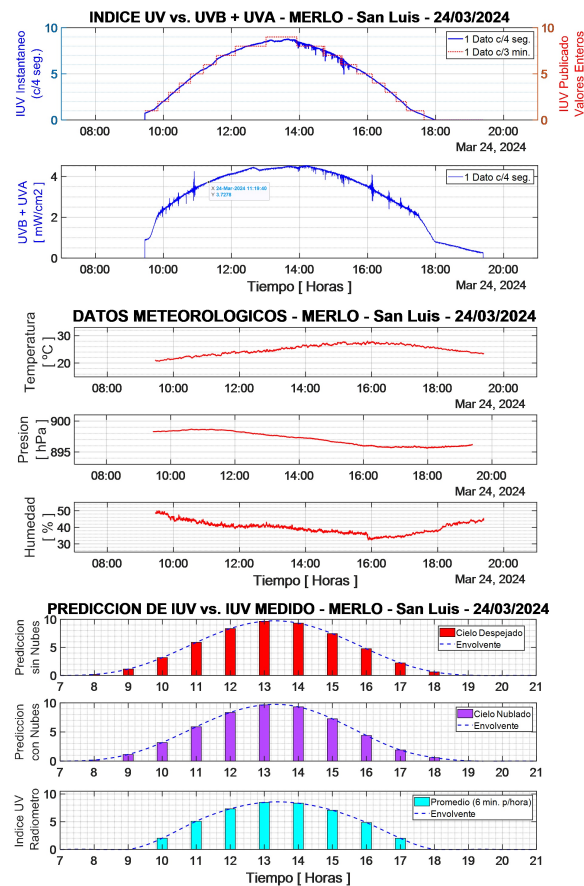


FIG. 7: Resultados obtenidos el 24/03/2024 en Carpintería – San Luis a 1350 metros de altitud con los datos meteorológicos locales y la predicción del SMN – Cielo despejado.

el mapa de IUV al mediodía solar en Argentina. Finalmente, en las Figs. 9 y 10 se muestran las señales adquiridas por el radiómetro y el mapa IUV (mediodía solar) del 18/03/24 que corresponde a un día con alta densidad de nubes. En este caso, la predicción del modelo queda muy lejos de la realidad; simplemente a las 14:00 hubo un pico de IUV de 11 (muy peligroso) que el modelo no tuvo en cuenta en la predicción con nubes.

V. CALIBRACIÓN

El sensor UVM-30A utilizado es un dispositivo comercial de bajo costo que entrega una señal de salida linealmente proporcional al índice UV, como se ilustra en la Fig. 11. Al carecer de una calibración metrológica trazable, se recurrió a productos satelitales de la misión Aura de la NASA (EOS CH-1), específicamente OMUVB y OMDOAO3, para validar y calibrar sus mediciones[15, 16].

El producto OMDOAO3 (Nivel 2) proporciona la columna vertical total de ozono utilizando el algoritmo DOAS del instrumento OMI (Ozone Monitoring Instrument). Cubre la porción iluminada de cada órbita (~ 1.650 mediciones por órbita, con un 'swath' de ~ 2.600 km y 60 píxeles por escena)[17, 18]. Entre sus parámetros auxiliares se destaca el Cloud Fraction (Cld F), derivado de la absorción del par $O_2 - O_2$ a 477 nm (producto OMCLDO2)[19]. Este parámetro adimensional, con valores entre 0 y 100, indica la fracción del píxel cubierta por nubes. Generalmente, se disponen de dos registros diarios en distintos horarios.

Por su parte, el producto OMUVB (Nivel 2) entrega irradiancias UV en superficie y dosis eritémicas (diarias y tasas), tanto al momento del sobrevuelo (13:45 h local) como al mediodía solar local. Incluye el parámetro OPUVindex ("Satellite Measured Overpass UV Index"), calculado a partir de un modelo de transferencia radiativa que integra datos de ozono total (OMTO3) y aplica correcciones por atenuación atmosférica debido a nubes y aerosoles mediante una función de rendija triangular (FWHM 0,55 nm)[20-24]. Los horarios de adquisición coinciden con los de OMDOAO3.

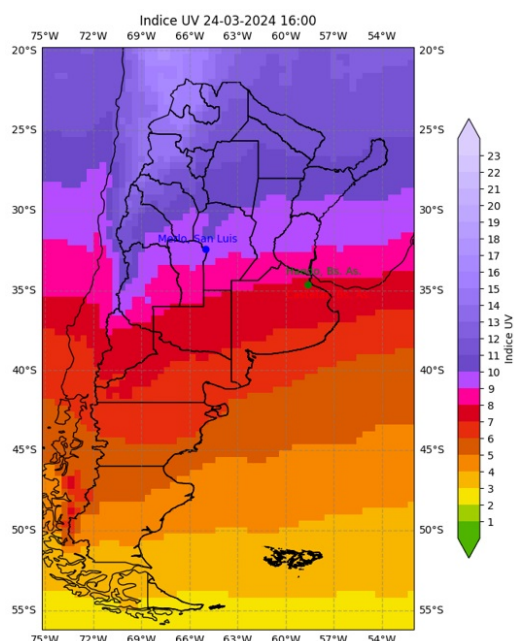


FIG. 8: Mapa del IUV en la Argentina para el 24/03/2024 al mediodía solar (13:00 hora oficial. – 16:00 UTC).

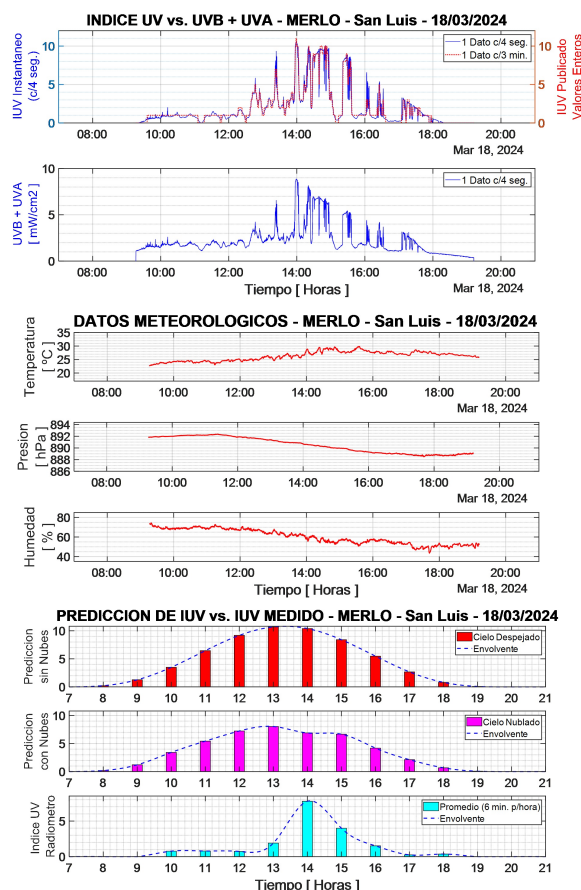


FIG. 9: Resultados obtenidos el 18/03/2024 en Carpintería – San Luis a 1350 metros de altitud con los datos meteorológicos locales y la predicción del SMN – Cielo completamente nublado.

Para calibrar el sensor, se solicitaron datos reprocesados de OMUVB y OMDOAO3 desde 2004 hasta la actualidad para las coordenadas de nuestras estaciones en Haedo (-34.641 Lat, -58.602 Lon) y Castelar (-34.670 Lat, -58.654 Lon). La calibración se realizó con datos correspondientes al año 2024, seleccionando exclusivamente los días con Cld F.= 0, es decir, condiciones de cielo completamente despejado, con el fin de minimizar los efectos de nubes y aerosoles[19, 25]. Se extrajeron 71 valores diarios del índice OPUVindex (habitualmente uno o dos registros posteriores a las 14 h local) y se compararon con las mediciones simultáneas del sensor UVM-30A (eje X). La regresión lineal obtenida presenta un

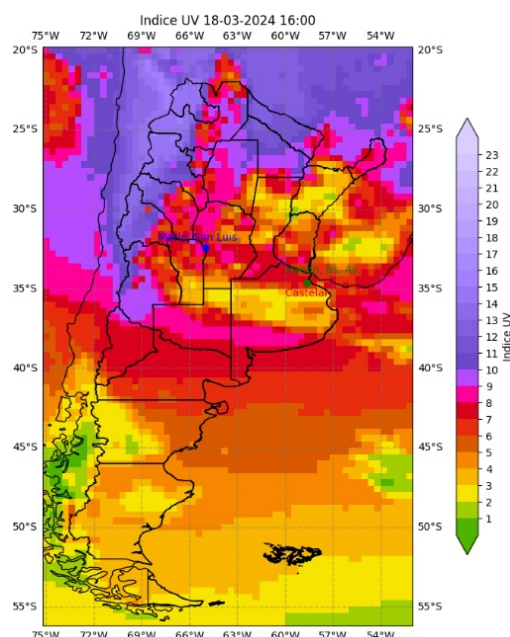


FIG. 10: Mapa del IUUV en la Argentina para el 18/03/2024 al mediodía solar (13:00 hora oficial. – 16:00 UTC)

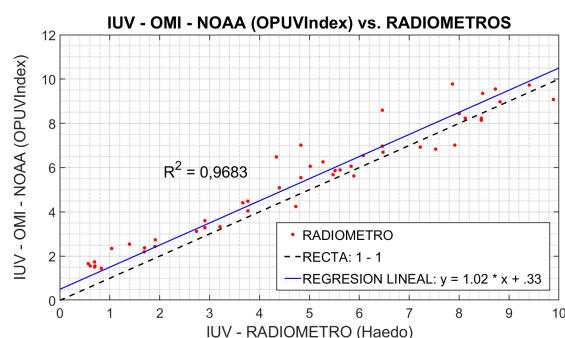


FIG. 11: Calibración entre los datos provistos por el OMI-NOAA y los datos adquiridos con el Radiómetro de Haedo (corresponden a las mismas fechas y horas del 2024)

coeficiente de determinación $R^2 = 0,968$, lo cual evidencia una concordancia entre ambos conjuntos de datos, bajo los estándares de calidad de OMI [25]. Cabe resaltar que los productos OMDOAO3 y OMUVB[25] son validados de forma continua frente a mediciones terrestres (instrumentos Dobson/Brewer, espectroscopía FTIR y campañas aéreas)[23, 26].

Como no se contaba con los datos del OMI en la zona de Merlo San Luis, se procedió a realizar mediciones simultáneas entre el Radiómetro de Haedo, el Radiómetro portable utilizado en San Luis y los datos del OMI correspondientes a los mismos días de mediciones en Haedo. Los resultados comparativos, obtenidos principalmente con cielo despejado nos permitió recalibrar el sensor del Radiómetro portable dando una correlación de datos con una variabilidad <1 %. Por lo tanto los valores del Radiómetro portable fueron validados con los mismos datos de validación del Radiómetro de Haedo.

VI. CONCLUSIONES

El desarrollo y las pruebas realizadas con los radiómetros portátil y transportable demostraron que las mediciones in situ mediante estos dispositivos son esenciales para obtener datos precisos y en tiempo real de RUV. Estos instrumentos permiten identificar variaciones locales instantáneas de radiación que no son captadas por los modelos basados en datos satelitales, especialmente en condiciones de nubosidad variable, donde los picos de radiación pueden ser peligrosamente altos. Estos instrumentos cuentan con capacidad para medir parámetros meteorológicos e índice UV con alta precisión, incluso bajo condiciones ambientales adversas; esto resalta la eficacia del diseño propuesto.

Este tipo de tecnologías es fundamental para proteger a los trabajadores expuestos a la RUV, sobre todo los trabajan en la construcción y/o en actividades al aire libre prolongadas. La posibilidad de contar con datos en tiempo real permite adoptar medidas preventivas más efectivas, como ajustar horarios laborales o intensificar el uso de protección solar. Los buenos resultados obtenidos respaldan el uso de dispositivos económicos y portátiles como herramientas clave para monitorear y reducir los riesgos asociados a la exposición solar en tiempo real, lo que tiene un impacto significativo en la salud ocupacional y en la prevención de enfermedades relacionadas con la radiación UV.

VII. TRABAJO A FUTURO

Se propone el desarrollo de un nuevo prototipo compacto, diseñado para integrarse directamente en elementos de protección personal, como cascos. Este diseño incluirá un módulo GPS para registrar con precisión la ubicación geográfica de cada medición, junto con una unidad de medición inercial que permitirá validar la orientación del sensor y garantizar que las mediciones se realicen con el sensor alineado correctamente a la incidencia de la radiación UV. Estas mejoras optimizarán la precisión y la funcionalidad del dispositivo, ampliando su aplicabilidad en entornos laborales exigentes.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento brindado a través de los Proyectos de Investigación y Desarrollo PID 8161 “Unidad portátil para la detección de radiación ultravioleta” y PID 10164 “Red de mediciones de índice UV con equipos fijos y portátiles”. También desean expresar su especial agradecimiento a la Facultad Regional Haedo de la Universidad Tecnológica Nacional por el apoyo institucional brindado para la realización de este trabajo.

Asimismo, se agradece al Dr. Facundo Orte por su gestión y colaboración en el reprocesamiento de los datos de los productos OMDOAO3 y OMUVB del sensor OMI.

REFERENCIAS

- [1] A. MacKinlay y B. Diffey. A reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human skin. *CIE Journal* **6** (1987). <https://cie.co.at/publications/cie-collection-photobiology-and-photochemistry>.
- [2] World Health Organization. Radiation: The ultraviolet (UV) index. 2022. [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-\(uv\)-index](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-(uv)-index).
- [3] United States Environmental Protection Agency (EPA). *UV radiation* 2010. <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/uvradiation.pdf>.
- [4] Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Daily analyses and forecasts. <https://atmosphere.copernicus.eu/charts/packages/cams/>.
- [5] Superintendencia de Riesgos del Trabajo. Guía de Actuación y Diagnóstico de Enfermedades Profesionales: Exposición a Radiaciones Ultravioletas. 2019. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2_guia_de_actuacion_y_diagnostico_-_exposicion_a_radiaciones_ultravioletas.pdf.
- [6] L. Gugliemetti, C. Burattini, A. Militello, M. Borra, F. Asdrubali, G. Salvadori, F. Leccese y F. Bisegna. *Real time UV erythematous personal exposure monitoring in outdoor workplaces in 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)* (2019), 1-5. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2019.8783314>.
- [7] M. F. Calvache Ruales, S. Westerhausen, H. A. Zapata Gallo, B. Strehl, S. D. Naza Guzman, H. Versteeg, W. Stöppelmann y M. Wittlich. UVR Exposure and Prevention of Street Construction Workers in Colombia and Germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **19** (2022). ISSN: 1660-4601. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/12/7259>.
- [8] I. Bogdanov, D. Cherkezov, S. Velez y R. Darlenski. UV Radiation Exposure of Outdoor Workers in Antarctica. *Photochemistry and Photobiology* **99**, 1208-1211 (2023). eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/php.13733>. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/php.13733>.
- [9] Espressif Systems. NODEMCU32 ESP-WROOM-32s. 2023. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.
- [10] Latis Semiconductor. ML8511 UV Sensor with Voltage Output. 2013. https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf.
- [11] S. A.M. *Interfacing UVM30A UV Sensor Module with Arduino* 2019. https://electropeak.com/learn/interfacing-uv30a-uv-light-sensor-module-with-arduino/#google_vignette.
- [12] GENUV. GUV-A-S12SD. 2020. <http://www.geni-uv.com/user/attachment/202401/1704950212551839.pdf>.
- [13] M. F. Hal Abelson. *MIT App Inventor* Application software. Disponibilidad en el repositorio: github.com/mit-cml/appinventor-sources. 2023. <https://appinventor.mit.edu/>.
- [14] Servicio Meteorológico Nacional. Pronóstico de índice solar UV. <https://www.smn.gob.ar/radiacionuv>.
- [15] M. Schoeberl, A. Douglass, E. Hilsenrath, P. Bhartia, R. Beer, J. Waters, M. Gunson, L. Froidevaux, J. Gille, J. Barnett, P. Levelt y P. DeCola. Overview of the EOS aura mission. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **44**, 1066-1074 (2006).
- [16] P. Veefkind. *OMDOAO3 README File* inf. téc. (NASA Goddard Earth Sciences Distributed Active Archive Center (GES DISC), 2020). <https://d37onar3vnbj2y.cloudfront.net/static/docs/OMDOAO3ReadmeCol3.doc>.
- [17] *OMDOAO3 HDF-EOS5 Swath Format Specification* inf. téc. (NASA Goddard Earth Sciences Distributed Active Archive Center (GES DISC), 2021). <https://www.earthdata.nasa.gov/about/esdis/esco/standards-practices/hdf-eos5>.
- [18] J. P. Veefkind, J. F. de Haan, M. Sneep y P. F. Levelt. Improvements to the OMI O₂-O₂ operational cloud algorithm and comparisons with ground-based radar-lidar observations. *Atmospheric Measurement Techniques* **9**, 6035-6049 (2016). <https://amt.copernicus.org/articles/9/6035/2016/>.

- [19] F. M. Institute. *OMUVB-L2-README* README file for the OMUVB product. 2013. https://promote.fmi.fi/OMUVB/OMUVB_readme.html.
- [20] A. Tanskanen, A. Lindfors, A. Määttä, N. Krotkov, J. Herman, J. Kaurola, T. Koskela, K. Lakkala, V. Fioletov, G. Bernhard, R. McKenzie, Y. Kondo, M. O'Neill, H. Slaper, P. den Outer, A. F. Bais y J. Tamminen. Validation of daily erythemal doses from Ozone Monitoring Instrument with ground-based UV measurement data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **112** (2007). eprint: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2007JD008830>. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2007JD008830>.
- [21] P. Stammes. *Clouds, Aerosols, and Surface UV Irradiance en Ozone Monitoring Instrument (OMI) Algorithm Theoretical Basis Document. Volumen III* (2002). <https://eospsa.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/atbd/ATBD-OMI-03.pdf>.
- [22] A. Arola, S. Kazadzis, A. Lindfors, N. Krotkov, J. Kujanpää, J. Tamminen, A. Bais, A. di Sarra, J. M. Villaplana, C. Brogniez, A. M. Siani, M. Janouch, P. Weihs, A. Webb, T. Koskela, N. Kouremeti, D. Meloni, V. Buchard, F. Auriol, I. Ialongo, M. Staneck, S. Simic, A. Smedley y S. Kinne. A new approach to correct for absorbing aerosols in OMI UV. *Geophysical Research Letters* **36** (2009). eprint: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2009GL041137>. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2009GL041137>.
- [23] T. O. Team. *OMI Data User's Guide: Processing Quality Flags Bitmask Recommendations* 2018. https://web.corral.tacc.utexas.edu/CSR/Public/OMI/README.OMI_DUG.pdf.
- [24] N. Kalakoski. *OMI UVB Level 2G HDF-EOS5* inf. téc. (Finnish Meteorological Institute, 2016). https://omi.fmi.fi/docs/OMUVB_L2G_Format_Specification_Document_v2_0.pdf.
- [25] G. Bernhard, A. Arola, A. Dahlback, V. Fioletov, A. Heikkilä, B. Johnsen, T. Koskela, K. Lakkala, T. Svendby y J. Tamminen. Comparison of OMI UV observations with ground-based measurements at high northern latitudes. *Atmospheric Chemistry and Physics* **15**, 7391-7412 (2015). <https://acp.copernicus.org/articles/15/7391/2015/>.
- [26] V. Buchard, C. Brogniez, F. Auriol, B. Bonnel, J. Lenoble, A. Tanskanen, B. Bojkov y P. Veefkind. Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites. *Atmospheric Chemistry and Physics* **8**, 4517-4528 (2008). <https://acp.copernicus.org/articles/8/4517/2008/>.