

Radiómetro solar de banda moderada GUV-2511: Interpretación de los datos y generación de productos

Nota Técnica SMN 2021-99

**Sebastián Papandrea¹, Facundo Orte², Raúl D'Elia² y Elián
Wolfram³**

¹ *Dirección de productos de modelación ambiental y de sensores remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación de Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional.*

² *División Atmósfera, Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, UNIDEF (CITEDEF-CONICET), UMI-IFAECI-CNRS-335 .*

³ *Dirección de Redes de Observación, Dirección Nacional de Infraestructura Tecnológica y Dato, Servicio Meteorológico Nacional.*

Julio 2021

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

En los últimos años las capacidades instrumentales para el monitoreo de la radiación solar han crecido notoriamente en nuestro país a través del desarrollo e instalación de nuevos sitios de monitoreo. Durante la ejecución del proyecto “Desarrollo del sistema de gestión de riesgos medioambientales atmosféricos en Sudamérica” se han incorporado, en el territorio nacional, siete nodos de observación dotados de instrumental específico para el sensado de la atmósfera, destacándose las mediciones de radiación solar con sensores de banda ancha en los rango UV-B, UV-A, onda corta y radiómetros multifiltros de banda moderada (GUV), dando origen a la red de observación SAVER-Net.

El objetivo de esta Nota Técnica es presentar la red de radiómetros multifiltro, brindar una introducción al instrumento GUV, la interpretación de los datos generados y generación de productos. Para esto, a lo largo de los diferentes apartados se identifican los sitios de medición que poseen sensores GUV, se describe su principio de funcionamiento junto a sus características técnicas, se detallan las bases de datos generadas y los potenciales productos que se pueden obtener desde el procesamiento de las mediciones que se realizan con este instrumento como ser: el índice UV, la irradiancia en el rango UV-B y UV-A, entre otros.

Abstract

In recent years, the instrumental capacities for the monitoring of solar radiation have grown notably through the development and installation of new monitoring sites in our country into the framework of the project “Development of the atmospheric environmental risk management system in South America”. During the development of this project, seven new observation sites have been incorporated, equipped with specific instruments for sensing the atmosphere, highlighting the broadband UV-B and UV-A radiometers, the pyranometers and the narrow-band multi-filter radiometers (GUV).

The objective of this work is to present the multi-filter radiometers network, introduce the main characteristics of the GUV instrument, the interpretation of the data bases, and the derived products. The different sections of the manuscript introduce the measurement sites location which have a GUV sensors installed, their operating principle and technical characteristics, the databases generated and the potential products that can be retrieved from the measurement processing, such as the UV index or UV-B and UV-A irradiance, among others.

Palabras clave: GUV, radiómetro multifiltro, radiación solar, SAVER-Net.

Citar como:

Papandrea S., F. Orte, R. D’Elia, E. Wolfram, 2021: Radiómetro solar de banda moderada GUV-2511. Interpretación de los datos y generación de productos. Nota Técnica SMN 2020-99.

1. INTRODUCCIÓN

Existen tres tipos principales de radiómetros solares UV (WMO, 2008): espectrofotómetros, radiómetros de banda ancha, y radiómetros multifiltros de banda moderada. Los espectrofotómetros proporcionan espectros UV, siendo el Brewer el instrumento de referencia. El mismo requiere de un mantenimiento continuo para asegurar mediciones de alta calidad y el costo de estos instrumentos es elevado. Por otro lado, los radiómetros de banda ancha son de relativo bajo costo y de fácil operación y mantenimiento, proporcionando valores integrados en rangos definidos como el UVA (320 - 400) o el UVB (280-320). Los radiómetros multifiltros de banda moderada, como los instrumentos GUV (Biospherical Inc.), tienen un rendimiento intermedio, que ofrece una resolución de aproximadamente 10 nm en longitudes de onda seleccionadas del rango UV y un costo relativamente bajo, si lo comparamos con los espectrofotómetros Brewer. En particular, el modelo utilizado en la red SAVER-Net (GUV-2511) posee un canal adicional para la medición de radiación fotosintéticamente disponible.

A partir de sus mediciones en diferentes canales es posible derivar parámetros como la irradiancia UVA, la irradiancia UVB o calcular el IUV. Por otro lado, mediante la sinergia con modelos de transferencia radiativa es posible obtener otros parámetros de interés como el espesor óptico de nube, la columna total de ozono o la síntesis de vitamina D, entre otros (Danhlback y otros, 1996, Stamnes y otros, 1991). Además, la frecuencia de muestreo de este tipo de instrumentos es superior a la de los espectrofotómetro, dando así una resolución temporal mayor, lo cual es imprescindible cuando se desea estudiar características de la nubosidad debido a la alta variabilidad que puede presentar este parámetro en el corto plazo. Así, los radiómetros multifiltro de banda moderada ofrecen una excelente opción entre los costosos espectrofotómetros y los radiómetros de banda ancha los cuales están muy limitados en cuanto a su versatilidad. Por estos motivos, se decidió incorporar radiómetros de banda moderada GUV-2511 a la red de radiómetros solares SAVER-Net.

2. RED DE OBSERVACIÓN

El estudio de problemáticas ambientales que afectan nuestro país como: el deterioro de la capa de ozono, el impacto de las cenizas debido a las erupciones volcánicas o el aumento de la radiación UV solar en superficie como consecuencia del transporte de masas de ozono bajo hacia latitudes medias, entre otros, pusieron en evidencia la necesidad de reforzar el monitoreo de la atmósfera, situación que impulsó el desarrollo e instalación de una gran capacidad instrumental en el marco del proyecto SAVER-Net llevado a cabo entre los años 2013 y 2018 (<http://www.savernet-satreps.org/es/>). De esta forma, El Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en colaboración con Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) y el National Institute for Environmental Studies (NIES) con la financiación de Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y el gobierno nacional, montaron una red de monitoreo de la atmósfera basada en técnicas de sensado remoto activo y pasivo que cuenta con siete estaciones dentro del territorio nacional (Ver Fig.1).



Figura 1: Ubicación de las estaciones SAVER-Net en Argentina.

Como se ha mencionado, los sitios de observación pertenecientes a red SAVER-Net poseen instrumental para el monitoreo de diferentes parámetros atmosféricos. Entre los instrumentos involucrados en la red se pueden encontrar: fotómetro solar CIMEL CE-318 (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>), sensor de radiación UVA, UVB y visible, medidor de partículas en superficie, medidor de gases traza (<https://www.pandonia-global-network.org/>), cámaras de observación de cielo (<https://sona03.sieltec.es/>), sensores para la medición de parámetros atmosféricos convencionales y por último, radiómetros multifiltros de banda moderada, como los instrumentos GUV-2511 (Biospherical Inc.) motivo de esta Nota Técnica.

Información complementaria sobre el instrumental, observaciones y parámetros obtenidos por la red de observación SAVER-Net pueden encontrarse en Papandrea (2020).

En la Tabla I se detallan los sitios específicos de la red que poseen sensores de radiación GUV.

Tabla I: Sitios de observación con sensores GUV, su ubicación, instrumento y su fecha de instalación.

Sitio	Ubicación			Instrumento	Instalación
	Latitud	Longitud	Altura		
Tucumán	26°47'13"S	65°12'24"W	485 m	GUV-2511	Marzo 2017
Pilar (Córdoba)	31°40'02" S	63°52' 57"W	332 m	GUV-2511	Abril 2017
Buenos Aires	34°33'20"S	58°30'22"W	140 m	GUV-2511	Septiembre 2014
San Carlos de Bariloche	41°08'50"S	71°09'50"W	873 m	GUV-2511	Marzo 2016
Comodoro Rivadavia	45°47'31"S	67°27'46"W	48 m	GUV-2511	Diciembre 2016
Río Gallegos	51°36'01"S	69°19'09"W	19 m	GUV-2511	Diciembre 2016

3. CARACTERÍSTICAS DEL GUV-2511

El GUV-2511 es un sensor de radiación solar multifiltro de alta frecuencia de muestreo, con la particularidad de generar una respuesta discreta, en el rango UV, en seis canales de longitud de onda (305, 313, 320, 340, 380, 395 nm) con un ancho de banda a media altura, FWHM de 10 nm (por sus siglas en inglés Full Width at Half Maximum), permitiendo obtener la irradiancia [$\mu\text{W}/(\text{cm}^2.\text{nm})$] para cada canal. El instrumento, también cuenta con un séptimo canal de respuesta continua para la medición de radiación fotosintéticamente disponible PAR (Photosynthetically Available Radiation) entre los 400 a 700 nm expresada en unidades de [$\mu\text{E}/(\text{cm}^2.\text{sec})$]. La Figura 2 ilustra la respuesta espectral de un GUV-2511, destacando que puede diferir ligeramente de un instrumento a otro por lo que el fabricante informa la respuesta espectral propia de cada instrumento.

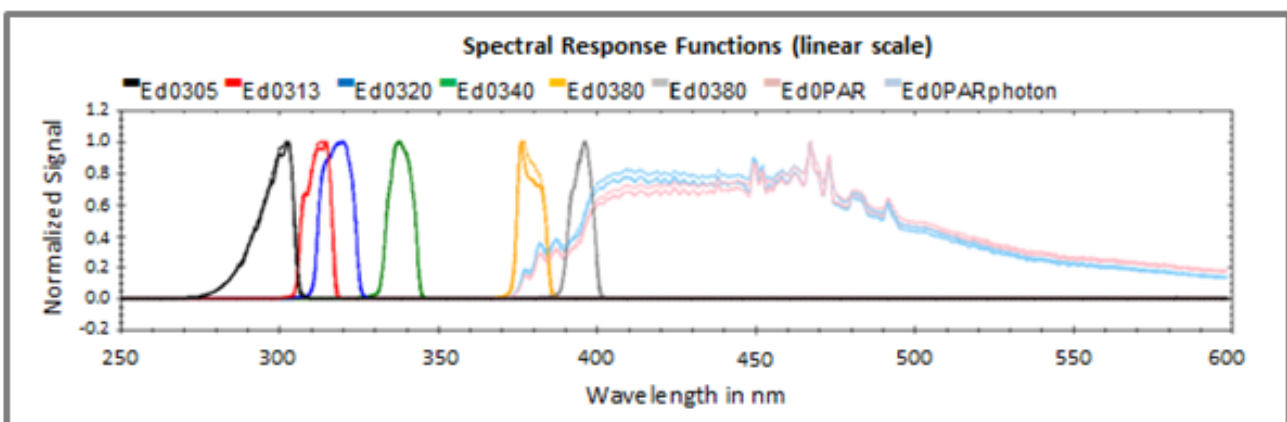


Figura 2: Respuesta espectral normalizada en escala lineal para los siete canales de medición.

El radiómetro multifiltro de banda moderada GUV-2511 se compone de tres partes fundamentales:

- El cabezal sensor estabilizado en temperatura.
- La interfaz de control y estabilización térmica.
- Software de adquisición.

3.1 Cabezal sensor

El cabezal sensor, estabilizado térmicamente con el objetivo de minimizar el ruido que se genera en la medición producto las variaciones de temperatura de campo, es el responsable de adquirir la medición generando un flujo de corriente proporcional a la luz solar incidente en el fotodetector que luego es incrementada por el amplificador de ganancia ajustable. Este último permite variar la ganancia en tres niveles (Small, Medium o Large) mediante la utilización de tres resistencias de ajuste.



Figura 3: Cabezal del GUV-2511 ubicado en Buenos Aires- CITEDEF.

Cuando los niveles de luz solar cambian, esto es detectado por el instrumento y ajusta automáticamente los niveles de ganancia mediante la modificación de la resistencia de realimentación del amplificador. La modificación en los niveles de ganancia es independiente para cada canal de medición. Esta particularidad en el funcionamiento del instrumento, respecto a la modificación automática de la ganancia en cada medición y cada canal, es muy importante de conocer a la hora de generar los datos calibrados ya que por cada uno de los tres niveles de amplificación se aplica un factor de calibración y offset distintos.

3.2 Interface de control y estabilización térmica

La interfaz de control permite la configuración y control de la temperatura del cabezal, oficia de nexo entre la PC local (software propietario del instrumento) y el cabezal para la configuración de las mediciones, la recepción de los datos y monitoreo del instrumento. La misma permite establecer manualmente la

temperatura de funcionamiento del cabezal (matriz de fotodiodos) que luego es regulada mediante un sistema de control. En la Fig. 4 se ve, en color verde la temperatura seteada y en color rojo la temperatura medida en tiempo real. Estabilizar térmicamente el instrumento permite minimizar las variaciones del ruido electrónico debido a la temperatura. .



Figura 4: Interface de control y estabilización térmica del GUV-2511.

3.4 Software de adquisición

Para establecer la configuración en las mediciones, monitorear el estado del instrumento, posibilitar la descarga de datos, su visualización en tiempo real y la evolución temporal de los mismos, el sensor GUV-2511 utiliza un software propietario (Logger). La frecuencia de muestreo, también se establece mediante el software Logger y en nuestro caso se establece en 60Hz siendo el registro el valor medio de las mediciones realizadas en ese intervalo.

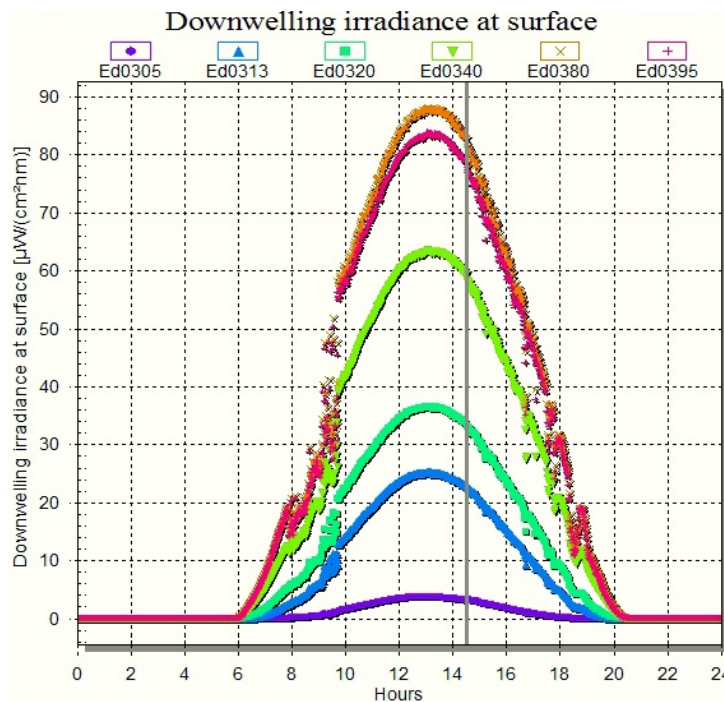


Figura 5: Visualizador del software Logger. Medición. Obs Pilar 11-12-2021.

La Fig. 5 ilustra la evolución temporal de irradiancia para los canales de 305, 313, 320, 340, 380 y 395 nm. La línea gris vertical separa, hacia la izquierda las mediciones del día actual en contraste con las mediciones del día anterior, hacia la derecha todas en establecidas en hora local.

3.5 Características técnicas

La Tabla II detalla las especificaciones técnicas principales del GUV-2511.

Tabla II: Principales características técnicas del GUV-2511 (<http://www.biospherical.com/>). * En nuestro caso la temperatura de la matriz de diodos se establece a 50°C +/-0.5°C .

Especificaciones técnicas del GUV-2511	
Características físicas	
Rango de temperatura	-50°C a 40°C
Temp. matriz de fotodiodos	40°C +/-0.5°C *
Características ópticas	
Longitudes de onda	305, 313, 320, 340, 380, 395 nm y PAR (400-700 nm)
Ancho de banda	FWHM de 10 nm
Matriz de detección	
Tipo de filtro	Filtro de interferencia de baja fluorescencia
Colector	Cuarzo recubierto en Teflón
Diámetro del colector	2.1 cm
Rechazo fuera de banda	1.10 ⁻⁶
Respuesta angular	0 a 5% de 0° a 70°; ± 10% de 71° a 85°
Saturación típica	105 μW/(cm ² .nm)
Ruido equivalente	10.10-11 Wcn-2nm-1
Coefficiente de temperatura de la señal oscura	< 3 μV/°C
Coefficiente de temperatura	< 0.15% °C ⁻¹
Electrónica del sistema	
Velocidad de muestreo	20 Hz
Retardo de muestreo entre canales	500 μseg ± 175nseg
Adquisición de datos	Combinación de PGA y A/D de 16 bits.

4. ARCHIVOS CRUDOS GENERADOS POR EL GUV-2511

Según la configuración seleccionada en el software propietario para los sensores de radicación multifiltro GUV-2511 de la red SAVER-Net, al comienzo de cada medición el software crea un archivo de extensión .mdb nombrándolo de acuerdo a la siguiente convención “AAAA_MM_DD_HHMM.mdb”, siendo AAAA el año, MM el mes, DD el día y HHMM la hora y los minutos (hora local) correspondiente al inicio de la medición. Estos archivos se cierran cada día a las 23:59:01 y se crea un nuevo archivo a las 00:00:01 del día siguiente con la misma convención adoptada.

El archivo diario se irá actualizando según la frecuencia temporal configurada, en nuestro caso será una frecuencia de adquisición de 60 segundos, siendo el resultado de la muestra el promedio de las mediciones realizadas por el instrumento en ese intervalo de muestreo.

Cada archivo generado al iniciar una rutina de medición tiene una extensión .mdb. Este archivo contiene seis ficheros, de los cuales los ficheros “Log”, “System”, “DAS” y “Channel” son incorporados automáticamente del archivo de calibración al iniciar las mediciones y no sufren modificaciones ni actualizaciones. Luego los ficheros “Resistor” y “Raw Data” son creados automáticamente al inicio de las mediciones y son actualizados por cada muestreo.

Como hemos mencionado, el archivo creado contiene seis ficheros y estos son identificados como:

- **Log:** Contiene mensajes del sistema y puede ser utilizado por el usuario para generar registros y/o comentarios de cada rutina de medición.
- **DAS:** Describe detalles de la calibración para cada uno de los canales.
- **System:** Contiene la configuración general del instrumento.
- **Channel:** Contiene datos de calibración e información del instrumento. En particular nos interesan los factores de calibración y de offset para los tres factores de amplificación.
- **Resistor:** Informa que resistencia (factor de amplificación) fue seleccionada en cada medición para cada canal. Esta información es necesaria a la hora de seleccionar el factor de calibración y el offset para realizar la calibración de la señal.
- **Raw Data:** Posee los valores crudos de las mediciones generadas por cada canal expresados en Volts y el monitoreo de la temperatura del instrumento. En nuestro caso establecida en 50°C.

Para nuestro caso, los ficheros que revisten mayor interés y utilizaremos a la hora de calibrar los datos, son: Channel, Resistor y Raw Data. Un mayor detalle sobre el contenido de cada fichero puede encontrarse en www.biospherical.com.

5. ARCHIVOS DE CALIBRACIÓN

El archivo de calibración, al igual que los archivos crudos generados por el instrumento tiene un formato de base de datos con extensión .mdb. La información respecto al instrumento, sus características, configuración y en particular los factores de calibración están dentro del archivo de calibración. Toda esta información se encuentra separada en tres diferentes ficheros:

- **System:** Proporciona información sobre el instrumento como ser: número de serie, modelo, tipo de instrumento y su configuración junto a otros parámetros que se utilizan en otros instrumentos (en nuestro caso los ignoramos). A continuación se detallan los parámetros más relevantes que contiene este fichero.
 - *SystemSN*: Número de serie que identifica el sistema.
 - *SystemDescriptor*: Modelo identificador del sistema. En nuestro caso “GUV-2511”.
 - *SystemsType*: Tipo de sistema. En nuestro caso “GUV-2511”.
- **DAS:** Contiene información del sensor y las propiedades del sistema de adquisición.
- **Channel:** Brinda la información del sistema, de configuración y particularmente la información necesaria para la calibración de los crudos. A continuación se detallan los parámetros que contiene el fichero Channel que serán utilizados en la calibración.
 - *ScaleS*: Factor de escala para la resistencia 1 en $[\mu\text{W.V}/(\text{cm}^2.\text{nm})]^*$
 - *ScaleL*: Factor de escala para la resistencia 2 en $[\mu\text{W.V}/(\text{cm}^2.\text{nm})]^*$
 - *ScaleM*: Factor de escala para la resistencia 3 en $[\mu\text{W.V}/(\text{cm}^2.\text{nm})]^*$
 - *OffsetS*: Tensión de compensación para la resistencia 1 en [V]
 - *OffsetL*: Tensión de compensación para la resistencia 2 en [V]
 - *OffsetM*: Tensión de compensación para la resistencia 3 en [V]

* El factor de escala para el canal PAR lleva unidades de $[\mu\text{E}/(\text{cm}^2.\text{sec})]$.

Es importante recordar que los tres ficheros de calibración (System, DAS y Channel) se copian directamente del archivo de calibración y se colocan dentro del archivo de datos crudos. Con esto, los archivos de datos crudos que se generan cuentan con toda la información necesaria para la calibración de los datos. En este sentido un archivo de datos crudos contendrá la información generada por cada medición como ser: el valor medido por cada canal en [V] en el fichero “RawData” y en el fichero “Resistor” informará la resistencia seleccionada por el sistema en cada medición y para cada uno de los canales, más los ficheros del archivo de calibración, en particular el más importante, para calibrar los datos crudos, el fichero Channel.

6. DATOS CALIBRADOS

Para poder generar datos calibrados, partiendo de los datos crudos generados por el GUV-2511 hay que conocer su principio de funcionamiento. Como se ha mencionado anteriormente en el apartado 3.1, la luz solar que ingresa al cabezal sensor e incide sobre el fotodetector genera un flujo de corriente proporcional a la luz ingresada para cada uno de los siete canales de mediación. Por razones de ingeniería, la tensión es más sencilla de trabajar respecto a los niveles de corriente, por lo que luego del fotodetector se dispone de una serie de amplificadores por cada canal de medición, con el objetivo de mejorar la relación señal a ruido y producir una tensión proporcional a la corriente generada por el fotodetector. Sumado a esto, el instrumento tiene la particularidad de que los amplificadores relacionados con cada canal de medición poseen ganancia autoajustable, mejorando así el rango dinámico del instrumento para diferentes condiciones de campo. El ajuste de la ganancia es realizado automáticamente por el instrumento mediante la modificación de la resistencia de realimentación que posee cada amplificador, pudiendo variar la ganancia en tres niveles diferente, denominados S,M y L (por sus siglas en inglés Small, Medium y Large) para lo que se utilizan tres niveles de resistencias denominadas 1, 2, 3 correspondientes a los niveles S,M y L, respectivamente.

El fotodetector genera una corriente proporcional a la luz incidente, sin mencionar que también se genera una corriente parásita debido a diversos factores y por diferentes fuentes. Esta corriente residual, denominada corriente oscura se suma a la corriente medida por el sensor, por lo que conocer y cuantificar esta corriente, o tensión proporcional, es fundamental para mejorar la calidad de nuestro dato calibrado. En este sentido, en el proceso de calibración del instrumento se determinan y cuantifican los niveles de corrimiento (offset) para cada nivel de amplificación.

Por lo mencionado anteriormente podemos utilizar la siguiente ecuación (ec. 1), para la calibración de datos crudos de los seis canales en rango UV denominados: Ed0305, Ed0313, Ed0320, Ed0340, Ed0380 y Ed0395) y en el canal visible (PAR).

$$(Datos\ crudos - Offset_x) / Factor\ de\ calibración_x = Datos\ calibrados \quad (1)$$

En rigor, la ecuación para la calibración de los datos crudos será un poco más complicada de lo que sugiere esta fórmula anterior (ec. 1). Como mencionamos habrá una medición por cada canal, por lo cual habrá una ecuación por cada canal. Recordemos que cada canal tenía tres resistencias de retroalimentación seleccionadas automáticamente por el firmware dependiendo del nivel de la señal de entrada. Debido a que hay tres resistencias de retroalimentación, hay tres compensaciones de Offset (una para cada resistencia) y también tres factores de ganancia que darán tres factores de calibración. Como dijimos, todo esto por cada canal y por cada medición.

En este sentido, para un canal determinado, el subíndice "x" que afecta los factores de Offset y Calibración representa el nivel de amplificación (tres niveles) que se utilizó en una medición en particular. En resumen, los pasos a seguir para obtener el valor calibrado de una medición son los siguientes:

1. Obtener el dato crudo del fichero "RawData"
2. Identificar qué resistencia se utilizó para dicha medición, esto figura en el fichero "Resistor". El mismo indicará mediante los números 1,2 o 3 la resistencia utilizada, que se relaciona con los niveles de amplificación S, M o L.
3. Del fichero "Channel", sabiendo el nivel de amplificación utilizado, se establecen los factores de escala o factor de calibración (ScaleS, ScaleM,ScaleL) y los Offset generados en la señal (OffsetS, OffsetM y OffsetL).

Este método para hallar los datos calibrados junto a la ecuación (ec. 1) son utilizados por el software propietario del instrumento para la generación de los datos ya calibrados. Refiriéndonos a esto último podemos decir que el software propietario del instrumento tiene la funcionalidad de:

- **Generación de datos calibrados a demanda:** Para esto uno selecciona el archivo .mdb que contiene los datos crudos junto al archivo de calibración, también de extensión .mdb y el software genera un nuevo archivo igual al de datos crudos con la incorporación de un nuevo fichero denominado CalibratedData con los datos procesados.
- **Generación de datos calibrados automáticamente:** Esta función fue habilitada en noviembre el 2020 para todos los sensores de la red. En este caso el software no solo genera los archivos .mdb referidos a los datos crudos sino que genera un archivo .CSV con los datos ya calibrados.

Cabe mencionar que existe una segunda corriente residual generada en el instrumento, ya no en condiciones de laboratorio como en el caso anterior, sino que ocurre en condiciones de campo. Por lo que realmente el corrimiento en la respuesta del fotodetector está influenciado por una componente estable (medida en el laboratorio) y una componente variable (medida en el campo). Por lo tanto, para ser estrictos en la corrección por Offset de la señal generada la luz incidente se deberán restar a la señal generada por el fotodetector ambas componentes residuales sumadas.

7. GENERACIÓN DE PRODUCTOS

Los radiómetros multifiltros de banda moderada GUV-2511 poseen seis canales de medición de banda moderada en el rango UV con un ancho de banda FWHM de 10 nm y un séptimo canal de banda ancha en el rango visible. Las mediciones calibradas de cada uno de estos canales permite, mediante una combinación lineal de ellos, la obtención de diferentes productos. En particular se detallan los pasos a seguir para la obtención de los productos como el Índice UV y la irradiancia espectral expresada en [$\mu\text{W}/(\text{cm}^2.\text{nm})$] para el rango UVA y UVB, y se hace referencia a otros productos que no se generan directamente mediante la combinación lineal de los datos calibrados, pero pueden ser obtenidos desde las mediciones del GUV-2511 aplicando diferentes técnicas.

7.1. PRODUCTO - ÍNDICE UV

Partiendo de las mediciones calibradas generadas por el GUV-2511, irradiancia espectral expresada en [$\mu\text{W.VI}/(\text{cm}^2.\text{nm})$], es posible obtener el índice UV 96 (estándar de la OMM) con un alto coeficiente de determinación (R^2) (Bernhard y otros 2005).

El método más simple para la obtención del índice UV (UVI) con un R^2 muy cercano a uno es una combinación lineal según expresa la siguiente ecuación:

$$UVI = a_1 \cdot E_{305} + a_2 \cdot E_{313} + a_3 \cdot E_{320} + a_4 \cdot E_{340} \quad (2)$$

Donde E_{305} , E_{313} , E_{320} , E_{340} son los valores calibrados obtenidos con en GUV-2511 para los canales de 305, 313, 320 y 340nm. Los coeficientes a_1 , a_2 , a_3 y a_4 son los factores que afecta a cada uno de los canales según corresponda.

$$a_1 = 0.8058 ; a_2 = 0.0887 ; a_3 = 0.0324 ; a_4 = 0.0131$$

El método y la obtención de los coeficientes se detallan en la nota de aplicación GUV Diffey Dose Calculations generada por la compañía Biospherical (Biospherical Instruments, 1998). Cabe destacar, que existe un segundo método para la obtención del UVI (Bernhard et al., 2005), no abordado en esta nota técnica que hace uso de las funciones de respuesta espectral del GUV más los factores de calibración asociados.

7.2. PRODUCTO - UVA

La obtención de los valores de irradiancia en el espectro UVA, al igual que en el caso del Índice UV, es posible de obtener mediante una combinación lineal de los datos calibrados obtenidos con el GUV-2511. En este caso, los factores de calibración se obtienen mediante una regresión lineal del espectro UVA respecto a la irradiancia espectral obtenida por cada canal de GUV-2511 utilizando cálculos del modelo de transferencia radiactiva.

En la práctica, partiendo de los datos generados y calibrados obtenidos del GUV-2511, se puede calcular la irradiancia en el rango UVA mediante la siguiente combinación lineal:

$$UVA = a_1 \cdot E_{340} + a_2 \cdot E_{380} \quad (3)$$

Siendo: los parámetros E_{340} y E_{380} los valores de irradiancia espectral expresados en [$\mu\text{W}/\text{cm}^2.\text{nm}$] para los canales de 340 y 380 nm. Los coeficientes a_1 y a_2 tomaran diferentes valores dependiendo de la convención del rango espectral UVA (315-400nm o 320-400nm).

Para el rango UVA definido entre 315 y 400 nm los coeficientes valdrán:

$$a_1 = 32.57 \text{ y } a_2 = 42.86$$

Para el rango de UVA definido entre 320 y 400 nm los coeficientes valdrán:

$$a_1 = 30.27 \text{ y } a_2 = 43.15$$

Estos coeficientes se establecieron mediante una regresión multivariada a partir de datos espectrales de un espectrorradiómetro SUV-100 de la red NSF UV-Monitoring (Booth y otros, 1994).

7.2. PRODUCTO - UVB

Al igual que en el caso de la irradiancia en el rango UVA, es posible obtener la irradiancia en el rango UVB, partiendo de los datos ya calibrados generados por el GUV-2511. En este caso, la irradiancia en el rango UVB se calcula mediante la siguiente combinación lineal:

$$UVB = a_1 \cdot E_{305} + a_2 \cdot E_{313} \quad (4)$$

Siendo E_{305} y E_{313} los valores de irradiancia espectral expresados en $[\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}]$ para los canales de 305 y 313 nm y los valores de los coeficientes a_1 y a_2 dependerá del espectro definido para la el rango UVB.

Para el rango UVB definido entre 290 y 315 nm

$$a_1 = 8.91 \text{ y } a_2 = 5.13$$

Para el rango UVB definido entre 290 y 320 nm

$$a_1 = -1.373 \text{ y } a_2 = 14.6$$

A igual que los coeficiente hallados para la obtención de la irradiancia en el rango ultravioleta A, estos coeficientes se establecieron mediante una regresión multivariada a partir de datos espectrales de un espectrorradiómetro SUV-100 de la red NSF UV-Monitoring (Booth y otros, 1994).

7.3. OTROS PRODUCTOS QUE PUEDEN SER DERIVADOS DEL GUV

Además de los productos mencionados en las secciones anteriores que son derivados directamente del GUV-2511, otros parámetros atmosféricos como la columna total de ozono, el espesor óptico de nube o la síntesis de vitamina D pueden ser obtenidos mediante la sinergia entre las mediciones de los diferentes canales de un radiómetro multifiltro de banda moderada con modelos de transferencia radiativa o instrumentación complementaria (WMO, 2010). El desarrollo de las metodologías empleadas para la obtención de estos parámetros pueden encontrarse en Stamnes y otros (1991) y Dahlback y otros (1996).

Estas metodologías han sido implementadas en nuestro país utilizando un instrumento GUV-541 (Salvador y otros, 2006; Salvador y otros 2008; Salvador, 2011; Orte y otros 2011; Orte, 2017).

8. REFERENCIAS

Bernhard G., Booth C., Ebrahimian J., 2005: Real-time ultraviolet and column ozone from multichannel ultraviolet radiometers deployed in the National Science Foundation's ultraviolet monitoring network. *Optical Engineering*, vol. 44, no 4, p. 041011.

Booth C.R., Lucas T.B., Morrow J.H., Weiler C.S., and Penhale P.A., 1994: The United States National Science Foundation's Polar Network for Monitoring Ultraviolet Radiation. *Antarctic Research Series*, edited by C.S. Weiler and P.A. Penhale, 62, 17-37, American Geophysical Union, Washington, D.C.

Dahlback A., 1996: Measurements of biologically effective UV doses, total ozone abundances and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments. *Appl. Opt.*, 35(33), 6514-6521, doi:10.1364/ao.35.006514.

Biospherical Instruments, 1998: Application Note: GUV "Diffey Dose" Calculations, Document Number 004401UA, pp. 7. http://biospherical.com/images/pdf/GUV_Diffey_Dose_Calculations.pdf

Papandrea S., 2020: Red SAVERNET. Descripción general, instrumental involucrado y productos generados. Nota Técnica SMN 2020-70. <http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1362>

Salvador J., 2011: Estudio del comportamiento de la capa de ozono y la radiación UV en la Patagonia Austral y su proyección hacia la comunidad. Tesis de doctorado, UTN-FRBA.

Salvador J., Wolfram E., Orte F., D'Elia R., Quel E., 2008: Medición del espesor óptico de nubes en Río Gallegos, *Anales AFA*, Vol. 20, p.251-254, Buenos Aires.

Salvador J., Wolfram E., Pallota J., D'Elia R., Quel E., 2006: Determinación de la concentración de ozono total sobre Río Gallegos utilizando un radiómetro y un modelo de transferencia radiativa. *Anales AFA*, Vol. 18, p.327, Merlo, San Luis.

Stamnes K., Slusser J., and Bowen M., 1991: Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. *Appl. Opt.*, 30(30), 4418–4426, doi:10.1364/ao.30.004418.

World Meteorological Organization (WMO), 2008: Guide to meteorological instruments and methods of observation. Seventh Edition, Report No. 8, 681 pp., Geneva, Switzerland.

World Meteorological Organization (WMO), 2010: Instruments to Measure Solar Ultraviolet Radiation Part 3: Multi-channel filter instruments. GAW Report No. 190, Geneva, Switzerland, 498 pp.

<http://www.biospherical.com/nsf/presentations/OEUV-12.pdf> .

<http://www.biospherical.com>

<http://www.savernet-satreps.org/es/>

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).