



Figura 1. Centro de experimentación de AEMET en Formigal-Sarrius (Pirineo de Huesca).

El impacto de la presencia de nieve sobre la radiación ultravioleta

RICARDO GONZÁLEZ, UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

SAMUEL BUISÁN, ARCADIO BLASCO, JOSÉ LUIS COLLADO, JAVIER ALASTRUÉ, SISTEMAS BÁSICOS, AEMET ARAGÓN.

JUAN IGNACIO LÓPEZ MORENO, INSTITUTO PIRENAICO DE ECOLOGÍA (CSIC)

JUAN RAMÓN MORETA, ANA DÍAZ, DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUCTURAS Y SISTEMAS, AEMET MADRID

1.- Introducción

La radiación de cuerpo negro emitida por el Sol abarca diferentes rangos del espectro electromagnético como son el ultravioleta, la luz visible y el infrarrojo. Mientras que los dos últimos son inocuos para el ser humano ya que los recibimos en forma de luz y calor respectivamente, la exposición prolongada a radiación ultravioleta sí conlleva riesgos (envejecimiento prematuro, daños en la retina, cáncer de piel o daños en el ADN) por lo que es necesario minimizar la cantidad de rayos UV que recibimos.

Existen varios tipos de radiación ultravioleta (UV-A, UV-B y UV-C) y cada uno de ellos lleva asociada una peligrosidad distinta. Para dar cuenta del riesgo asociado a la cantidad de radiación de cada tipo que se recibe se creó un estándar internacional, el índice ultravioleta (UVI), que combina la cantidad de radiación UV de cada tipo detectada con su peligrosidad, normalizando el valor obtenido para convertirlo en un valor entre 0 y sin cota superior, aunque a partir de índices superiores a 11 ya se habla de riesgo extremadamente alto. De este modo con un número reconocido internacionalmente y de fácil lectura se puede conocer el riesgo asociado a la exposición a radiación solar. Para su medida se usan piranómetros específicos de ultravioleta. Estos normalmente utilizan un filtro de alta calidad para aproximar la respuesta espectral del aparato a la respuesta que presenta la piel humana a los efectos del Sol (función eritemática). El índice UVI se calcula multiplicando la irradiancia eritemática sobre una superficie horizontal en W/m^2 por 40. El riesgo por exposición a radiación asociado a cada valor de UVI es el que se recoge en la Tabla 1.

UVI	RIESGO
0-3	BAJO
3-6	MODERADO
6-8	ALTO
8-11	MUY ALTO
>11	EXTREMO

Tabla 1. Riesgo asociado a la exposición de cada rango de valores de UVI.

Son muchos los factores que afectan al valor del UVI, como la nubosidad, la cantidad de ozono en la atmósfera o la altitud. La presencia de cubierta nivosa también se ha identificado como clave en los niveles de UVI dado que posee un factor de reflexión de hasta el 90% para nieve fresca, siendo menor para nieve más evolucionada. Además la dispersión del ultravioleta es mucho más eficiente según la Ley de Dispersión de Rayleigh, lo que provoca que la radiación UV pueda incidir con facilidad en objetos no orientados directamente a la radiación solar directa (Kerr, 2003; Koepke y Mech, 2004; Siani et al., 2008).

En este artículo, se analizará el efecto de la presencia de nieve sobre la radiación ultravioleta en la estación de Formigal (Pirineo de Huesca), siendo los resultados perfectamente extrapolables a otras zonas del Pirineo con similar altitud y nivosidad.

2.- Instrumentación

El centro de experimentación de AEMET en Formigal-Sarrius (Buisán et al., 2016) a 1800 m s.n.m. se compone de numerosos instrumentos de medida de variables meteorológicas, tanto de AEMET como de otras instituciones (Confederación Hidrográfica del Ebro, Consejo Superior de Investigaciones Científicas), que sirven para intercomparar y probar instrumentación en condiciones de alta montaña (Figura 1).

En 2015 se instalaron por parte del Servicio de Redes Especiales y Vigilancia Atmosférica de AEMET dos piranómetros de Ultravioleta Eritemática (UVER), el primero en condiciones habituales de medida (UV1) sobre una superficie horizontal y el segundo “mirando hacia abajo” (UV2) para detectar la contribución de la radiación ultravioleta reflejada por la cubierta nivosa (Figura 2a). Ambos equipos se encuentran incluidos dentro del programa de calibración de AEMET que contempla su calibración bienalmente por el Laboratorio Radiométrico Nacional de AEMET, con trazabilidad directa al patrón mundial de UV espectral, QASUME (Quality As-

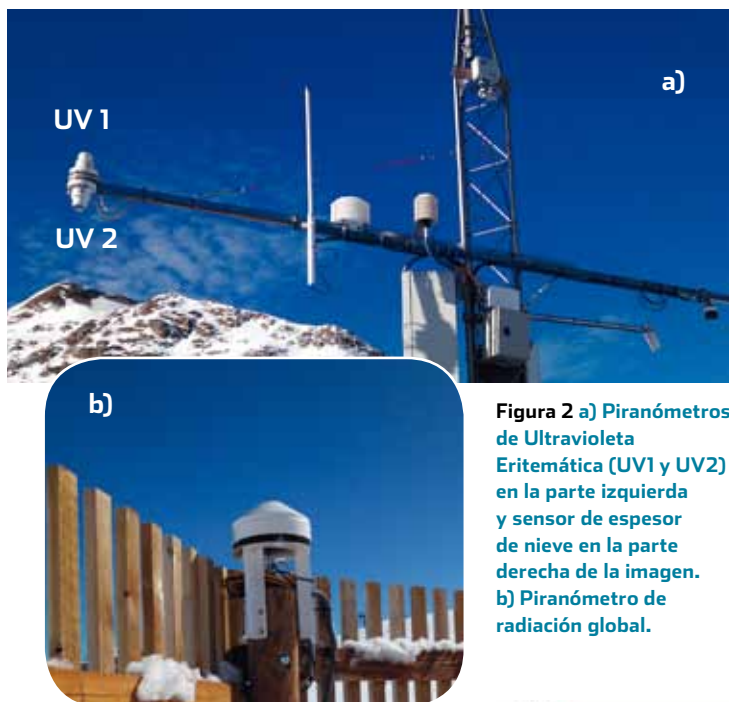


Figura 2 a) Piranómetros de Ultravioleta Eritemática (UV1 y UV2) en la parte izquierda y sensor de espesor de nieve en la parte derecha de la imagen. b) Piranómetro de radiación global.

surance of Spectral UV Measurements in Europe), y siguiendo las instrucciones al respecto del Centro Radiométrico Mundial PMOD/WRC de Davos (Hulsen et al., 2007) Además se instaló un piranómetro de radiación solar global (Figura 2b) también incluido dentro del programa bienal de calibración del Centro Radiométrico Nacional de AEMET, con trazabilidad a la World Radiometric Reference del Centro Radiométrico Mundial PMOD/WRC de Davos.

Los tres instrumentos radiométricos son mantenidos y operados siguiendo las recomendaciones al respecto establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (WMO, 2014)

3.- Resultados

La figura 3 muestra las medidas del índice ultravioleta a lo largo de 2016 en cuatro lugares distintos: Zaragoza, Huelva (El Arenosillo), Navacerrada y Formigal. Huelva (37 m s.n.m.) y Zaragoza (210 m.s.n.m.) se encuentran a muy baja altitud. Las estaciones de Navacerrada y Formigal se encuentran en zonas montañosas con altitudes mucho mayores (1894 y 1800 m s.n.m. respectivamente) y mientras Navacerrada se encuentra en el centro de la península ibérica, Formigal se encuentra en el norte siendo la que menor radiación recibe por su latitud. La diferencia entre estas dos últimas localizaciones es que en Formigal tiende a acumularse nieve hasta meses muy avanzados, como mayo, por lo que nos permite estudiar el efecto de la nieve en el UVI durante un periodo más prolongado.

En la Figura 3 se puede apreciar un aumento del valor del UVI en Formigal frente a los otros tres puntos de medida en el periodo correspondiente a marzo y abril, coincidiendo con los meses en los que el terreno en Formigal aún está nevado, mientras que los otros no. Concretamente, el valor medio del UVI durante dicho periodo en Formigal es de 6.76, mientras que en Huelva es

de 6.22, en Zaragoza es de 5.18 y en Navacerrada de 5.40. Así, Formigal presenta un aumento del 8% frente a Huelva, del 31 % frente a Zaragoza y del 25 % frente a Navacerrada.

El hecho de que la media en Navacerrada sea a su vez mayor que en Zaragoza es razonable ya que la primera estación se encuentra a mayor altitud, luego la radiación recorre menor espacio a través de la atmósfera, sufriendo una menor atenuación. Sin embargo, estando Navacerrada a una altitud mayor que Formigal, es en la segunda en la que se detectan mayores niveles de índice ultravioleta, mostrando la importancia del efecto que tiene la presencia de nieve en el valor del UVI a pesar de encontrarse Formigal mucho más al norte y distante cerca de 400 km. Además, la media en Formigal también es superior a la registrada en Huelva, a pesar de darse en la primera estación

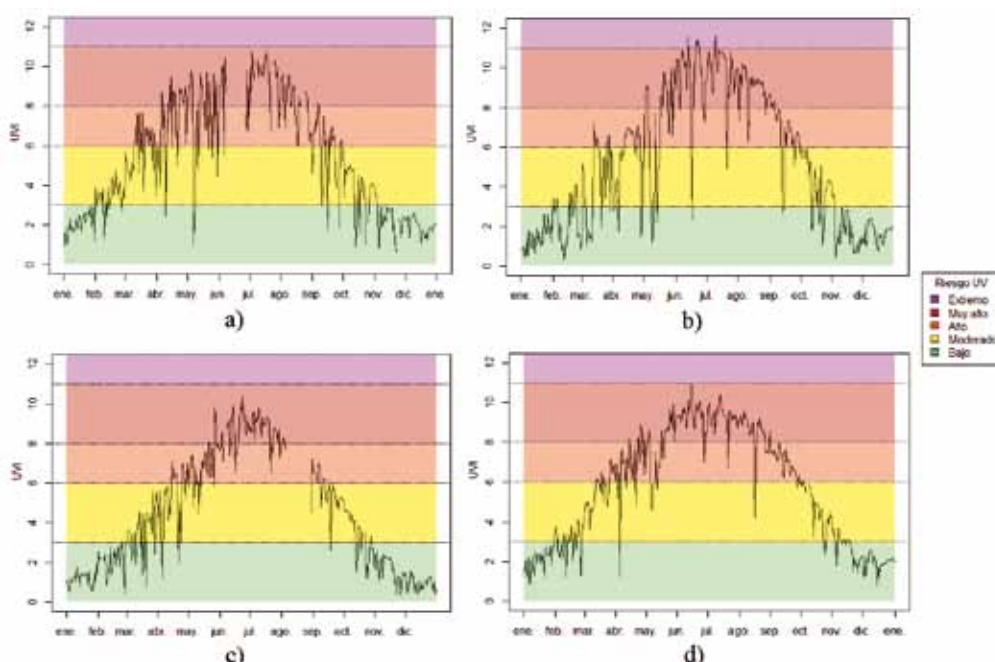


Figura 3. Evolución del índice ultravioleta en a) Formigal b) Navacerrada c) Zaragoza y d) Huelva (El Arenosillo) a lo largo de 2016. Los datos corresponden a los máximos de UVI diarios.

muchos más días de precipitación asociados a una menor tasa de radiación global.

La Figura 4 muestra los datos de índice ultravioleta y espesor de nieve en los periodos desde enero hasta mayo de 2016 y 2017 en Formigal. Los datos recogidos por el sensor UV1 muestran que los mayores valores de radiación se producen inmediatamente después de acumulaciones de nieve en abril, lo que sugiere que el mayor albedo de las montañas circundantes incrementa de forma clara los valores de UV sumado a las mayores tasas de radiación de esta época del año. Estos valores no aumentan con la misma rapidez conforme entramos en mayo debido al envejecimiento y la progresiva desaparición de la nieve. Este hecho también se muestra en el sensor UV2 que incluso responde de forma más acusada a la aparición de nieve reciente. Además, conforme la nieve desaparece la contribución de la radiación UV reflejada tiende a 0. En ambas

El impacto de la presencia de nieve sobre la radiación ultravioleta

temporadas vemos que el comportamiento es similar siendo el único factor que influye en las diferencias de UVI observadas la presencia de nieve.

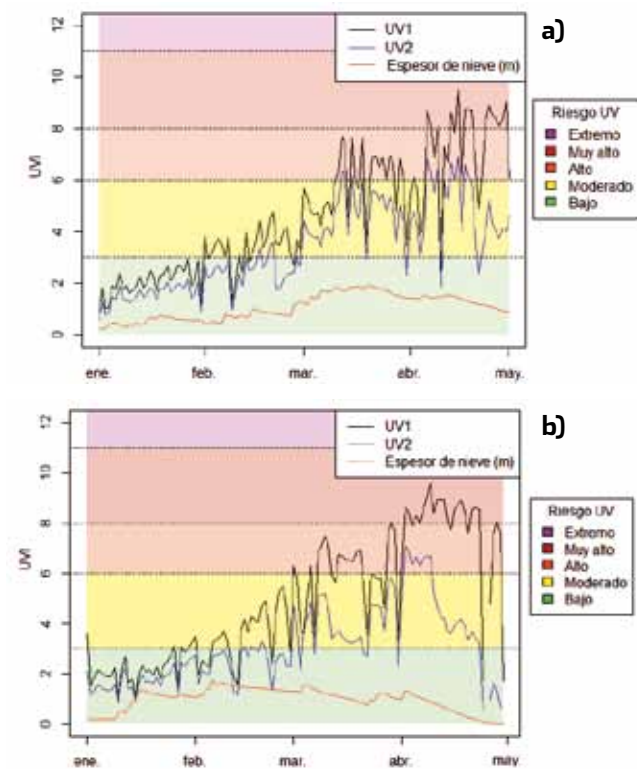


Figura 4. Evolución del UVI en el periodo enero-mayo en Formigal (a) 2016. (b) 2017.

Para mostrar más claramente el efecto de la contribución de la nieve sobre el UVI, la figura 5 muestra la evolución de la radiación solar global, el UVI en sensor UV1 y el espesor de nieve en los meses entre marzo y mayo de 2016. Se observa una gran correlación entre la radiación global y el UVI. Sin embargo se alcanzan UVI similares tanto en abril como en mayo a pesar del incremento de radiación solar conforme avanzamos hacia el verano. Por ejemplo el 15 de mayo se detecta un pico en la radiación de 1200 W/m² al cual corresponde un valor de

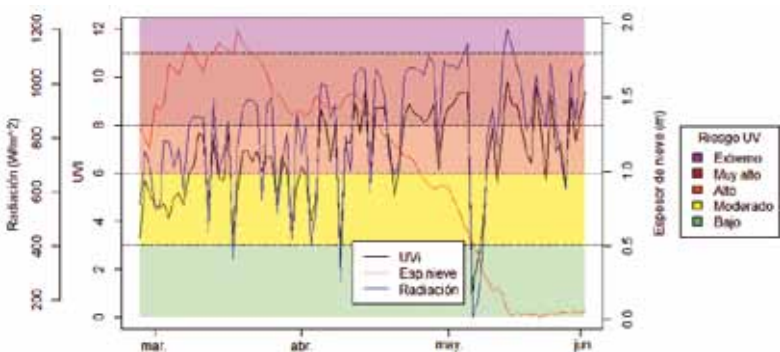


Figura 5. Evolución de la radiación global, el espesor de nieve y el UVI en el periodo marzo-mayo 2016 en Formigal.

9.83 del UVI, mientras que el 14 de abril se detecta un pico de radiación de 1000 W/m² acompañado de un valor de UVI que es casi equivalente al que se da en mayo (9.43). Esto demuestra de nuevo el impacto de la nieve sobre el índice ultravioleta haciendo corresponder a menores valores de radiación un valor similar de UVI.

4.- Conclusiones

Este análisis muestra que la presencia de nieve es un claro modulador de la radiación ultravioleta recibida. Bajo tasas de radiación típicas de primavera si el terreno está nevado podemos alcanzar valores de radiación ultravioleta (directa y reflejada) más propios de meses de verano.

La posibilidad de utilizar Formigal por sus características de zona elevada, latitud con altas tasas de radiación y presencia de nieve hasta bien entrada la primavera le dotan de una gran importancia para proyectos, ya en marcha y de mayor envergadura, con el objetivo de validar modelos de balance radiativo y observaciones desde satélite así como estudiar e informar a la sociedad de la importancia de una protección adecuada frente a la radiación solar.

Agradecimientos: al personal de AEMET de la Delegación en Aragón y Servicios Centrales, así como de la estación de esquí de ARAMON-Formigal, que han colaborado en la instalación y mantenimiento de equipos meteorológicos.

5.- Referencias

- Buisán, S., Alastrué, J., Collado, J.L., San Ambrosio, I., Requena, R., Bartolomé, M., Gil, M., y Moreta, J.R., (2016). Reference measurements for WMO/CIMO SPICE and on-going projects at the Formigal-Sarriós field site. WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation, 2016, Madrid, Spain.
- Hülsen, G. & Gröbner, J., (2007) Characterization and calibration of ultraviolet broadband radiometers measuring erythemally weighted irradiance, *Applied Optics*, Volume 46, 5877-5886.
- Kerr, J. B., (2003). Understanding the factors that affect surface UV radiation. In *Optical Science and Technology, SPIE's 48th Annual Meeting* (pp. 1-14). International Society for Optics and Photonics.
- Koepke, P. y Mech, M., (2005). UV irradiance on arbitrarily oriented surfaces: variation with atmospheric and ground properties. *Theoretical and applied climatology*, 81(1), 25-32.
- Siani, A. M., Casale, G. R., Diémoz, H., Agnesod, G., Kimlin, M. G., Lang, C. A., y Colosimo, A., (2008). Personal UV exposure in high albedo alpine sites. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(14), 3749-3760.
- WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, World Meteorological Organization, WMO-No. 8 (2014 edition).