

MODELO DE MADRONICH DEL INDICE UV EN SALTA

Da Souza Correa T. ¹ Suárez H. ^{1,2}, Salazar G. ^{1,2}

¹UNSa, Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta Capital, Argentina.

²INENCO, Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta Capital, Argentina.

Departamento de Física – Facultad de Ciencias Exactas — UNSa C.P. 4400 – Salta

Tel. 0387-4255389 e-mail:

Recibido 08/09/15, aceptado 09/10/15

RESUMEN: Se desea establecer la representatividad del modelo de predicción del UVI en condiciones de cielo claro formulado por Madronich (MM) y aplicado en la ciudad de Salta (1200 msnm). Al variar con la geografía las constantes de este modelo fue necesario generar un *modelo local de Madronich* (MLM). En este trabajo se analizaron y compararon mediante un análisis de bondad del modelo y validación, los valores de UVI de cielo claro medidos durante el año 2013-2014 con valores estimados por MM y MLM. Primeramente se filtraron los datos, luego se estimaron las constantes locales y finalmente se contrastan las estimaciones del MLM, MM y los valores medidos. Los modelos subestiman el IUUV, el MLM presenta una mejor aproximación a los datos medidos que el MM. Los errores cometidos por utilizar el MLM son menores al 10%.

Palabras clave: Radiación solar, índice UV, eritema, modelización.

INTRODUCCIÓN

La radiación solar Ultravioleta (UV) que llega a la superficie del planeta es la parte de la radiación solar espectral que se encuentra entre los 280 nm y los 400 nm. Dado lo corto de las longitudes de onda en las que se encuentra, su energía es muy alta, entre 3 y 12 electrón Voltios (eV). La radiación UV tiene la particularidad que, en ciertas dosis, es beneficiosa para la salud humana (ayuda a la producción de la vitamina D₃, es germicida, etc.), pero si las dosis que recibe un individuo son altas y la exposición es prolongada (varios años), existe una alta probabilidad de que desarrolle carcinomas/melanomas (cáncer de piel) u opacificación total o parcial del cristalino (cataratas). Dados los efectos biológicos que origina, la radiación ultravioleta se suele dividir en tres bandas: UV-C (100 nm - 280 nm), UV-B (280 nm - 315 nm) y UV-A (315 nm - 400 nm) (CIE, 1999). La radiación UV-C es absorbida en su totalidad por la atmósfera terrestre, mientras que los otros dos tipos logran atravesarla, aunque atenuadamente. Los factores de atenuación más importantes son:

Ozono atmosférico: La radiación solar UV es absorbida y dispersada en la atmósfera. La radiación UVC es absorbida totalmente en la parte alta de la atmósfera por el oxígeno y por moléculas de ozono, mientras que la mayor parte de la UVB es absorbida en la estratósfera por el ozono. Por lo tanto, a la superficie terrestre llega radiación UV compuesta en su mayoría por radiación UVA, y solo una pequeña parte de UVB. (Suarez, 2010).

Masa de aire o aeromasa: Es el cociente entre la trayectoria óptica oblicua descrita por un rayo a lo largo de la atmósfera y la trayectoria vertical mínima que tendría que recorrer para llegar al mismo punto sobre la superficie. Depende de los procesos de atenuación por ozono, vapor de agua, aerosoles (polvo, polen, etc.), etc. Como la aeromasa varía con la posición del sol en el firmamento, descrita por el ángulo cenital o su complementario (altura solar), su valor dependerá además de la latitud, estación del año y hora.

Altitud: La radiación UV aumenta con la altitud debido a que la cantidad de absorbentes en la atmósfera decrece con la altura. Estos incrementos oscilan entre un 6% y un 8% por cada 1000 m. (Zaratti, 2006)

Nubes y polvo: Las nubes normalmente reducen la cantidad de radiación UV, aunque la atenuación depende del grosor y tipo de éstas. En ciertas condiciones, y por periodos cortos de tiempo, una pequeña cantidad de nubes puede incluso hacer aumentar la cantidad de radiación UV. (Piacentini et al, 2003; Da Souza et al, 2013).

Reflexión: Parte de la radiación que llega a la tierra es reflejada. El porcentaje reflejado depende de las propiedades de la superficie. Elementos como la hierba, el agua y otros, reflejan menos de un 10% de RUV, sin embargo otros elementos como la nieve fresca puede llegar a reflejar el 80% de RUV incidente (www.cmfotobiologia.com).

Con un radiómetro calibrado en el ancho de banda adecuado puede medirse de forma directa la radiación UV, de forma similar a la medición de radiación global. Pero al existir una dependencia de la radiación ultravioleta con diversos factores meteorológicos (ozono diario, aerosoles atmosféricos, por ejemplo) y geográficos (altitud sobre el nivel del mar, latitud, longitud, etc), se complica su medición, ya que debería instalarse un sensor en cada lugar en donde interese conocer la radiación UV. Como los sensores tienen un alto costo y precisan un mantenimiento sostenido en el tiempo resulta ser de mucho interés el contar con un *modelo de predicción del índice UV*. Este modelo debería permitir calcular la radiación ultravioleta en función de parámetros que tengan una medición más sencilla, o se puedan conocer hasta sin necesidad de realizar mediciones en el lugar. También, si estos parámetros son predecibles según modelos ya estudiados, podría predecirse el índice UV, sirviendo esto para comunicar a la población que comportamientos tomar para proteger su salud.

EL MODELO EMPIRICO DE MADRONICH

Sasha Madronich (EEUU), en su trabajo titulado “Analytic Formula for the Clear-sky UV Index” (2007) propone un modelo predictivo para el índice UV dependiente de dos variables, la concentración de ozono atmosférico o columna vertical de ozono, y el coseno del ángulo cenital solar que da la posición relativa del sol respecto al emplazamiento de interés en cada instante del día. Esta correspondencia empírica aproximada se da para condiciones de *cielo claro, albedo bajo y cielo sin polución*. Dicho modelo se basa en una correlación simple, propuesta por un modelo de transferencia de radiación (RTM):

$$IUV \propto T_0 \left(\frac{\Omega}{\mu_0} \right)^{-RAF} \quad (1)$$

Donde IUV es el Índice ultravioleta, T_0 es un término de transmisión atmosférica, μ_0 es el coseno del ángulo solar cenital (sza), RAF es el factor de amplificación de radiación y Ω es la altura de la columna vertical de ozono.

Como primera aproximación, T_0 es independiente de Ω , pero es directamente proporcional a μ_0 , porque el IUV está medido en una superficie horizontal. Entonces resulta:

$$IUV \propto \mu_0^{1+RAF} \Omega^{-RAF} \quad (2)$$

El RAF en el rango de radiación eritémica y para la estimación del IUV es aproximadamente 1.2, con lo que los exponentes de μ_0 y Ω son 2.2 y -1.2, respectivamente.

Una estimación un poco mejor puede obtenerse asumiendo la siguiente dependencia entre las mismas variables,

$$IUV = a\mu_0^b \Omega^c \quad (3)$$

Donde los coeficientes a, b y c se estiman ajustando los resultados al RTM. Usando el modelo troposférico ultravioleta – visible (TUV), con condiciones de cielo claro, libre de aerosoles y 5% de albedo de superficie.

Para sol sobrecargado y $\Omega = 300$ DU, el índice UV computado es de 12.5, y la dependencia con μ_0 y Ω viene dada por:

$$IUV = 12.5\mu_0^{2.42} \left(\frac{\Omega}{300}\right)^{-1.23} \quad (4)$$

Con Ω en unidades Dobson (DU). La fórmula reproduce los resultados con un error del 10% o menos, para ángulos cenitales entre 0° y 60°, y altura de columna de ozono entre 200 y 400 DU, siempre para cielo claro. Los errores relativos son menores para altas IUV (bajo ángulo cenital y baja concentración de ozono) y el modelo tiende a sobreestimar el IUV.

EL EMPLAZAMIENTO, INSTRUMENTOS Y METODOLOGIA DE MEDICION

El emplazamiento

Las mediciones de radiación solar global y radiación solar ultravioleta fueron desarrolladas en la estación meteorológica montada por el INENCO (Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales) en la azotea del Dpto. de Física de la Universidad Nacional de Salta. Salta Capital está ubicada en el Valle de Lerma, a una altitud de 1187 metros sobre el nivel del mar, con latitud de 24.729 S y longitud de 65.409 W. Es la ciudad más poblada de la Provincia, con 470.000 habitantes, aproximadamente la mitad del total provincial. Tiene un clima sub tropical serrano con estación seca, con las precipitaciones (cerca de 1000 mm anuales) concentradas entre noviembre y marzo. Desde abril y hasta octubre, salvo contadas excepciones, no llueve y el cielo esta generalmente despejado de nubes generando condiciones de cielo claro. Durante la época estival la temperatura media ronda los 20° centígrados, mientras que en el invierno es cercana a 14 °C.

Los Sensores

Se utilizaron un Pirómetro de radiación solar UV eritémica modelo UV-S-E-T de la firma Kipp & Zonen. Los radiómetros fueron calibrados el 09-07-2012 mediante un sistema de lámpara de Xe, un monocromador (ORIEL Piedra angular MS257) y patrón secundario de fotodiodo de Si. La incertidumbre es menor al 5% según datos del fabricante. Las características del radiómetro UV-S-E-T se muestran en Suárez, 2013. Estos radiómetros de banda ancha (280-400 nm) son, conocidos como radiómetros tipo Robertson-Berger, su respuesta espectral se obtiene mediante el empleo de un filtro que simula la reacción de la piel humana a la acción solar. La función respuesta CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) no es uniforme en el rango espectral de estudio, ya que tiene un peso decreciente (el efecto sobre la piel es menos dañino) a medida que aumenta la longitud de onda de la radiación UV que alcanza la superficie terrestre. La curva del espectro CIE se encuentra normalizada a la unidad en 297 nm, longitud de onda de máxima acción eritematosa. Para la medida de la radiación solar global en una superficie horizontal se cuenta con piranómetros CM3 de la firma Kipp & Zonen (figura 2). En este trabajo los equipos de adquisición de datos utilizados son de tipo CR10X de la firma Campbell Scientific. El equipo CR10X es un instrumento robusto y versátil que está formado por un módulo de control y un panel de conexiones. La memoria RAM de 128 k almacena hasta 62000 valores, protegidos por una pila de litio que permite el registro continuo de datos (Suárez et al, 2013).

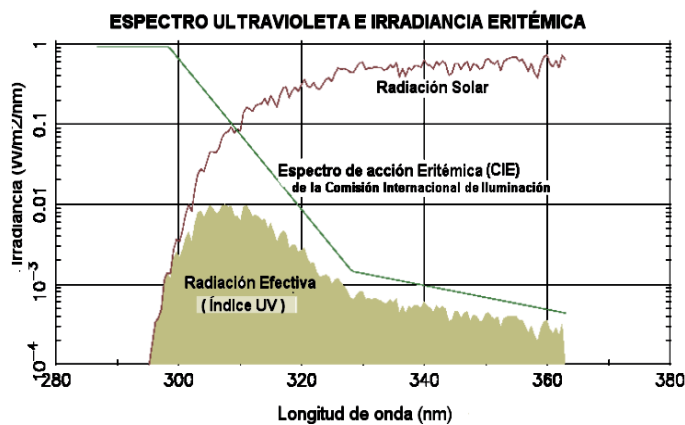


Figura 1. Irradiancia solar espectral UV, espectro de acción eritémico y UVER (producto de ambas curvas).



Figura 2: Piranómetro CM3 de Kipp & Zonen para la medida de la radiación solar global.

Los valores de variación de la concentración de ozono en la atmósfera, medida en Unidades Dobson (DU), se encuentra entre 274 y 261 DU. Los datos de la altura de la columna de ozono son aportados por el portal de la NASA, que mide esta variable por medio de instrumental montado en satélites.

EL MODELO LOCAL DE MADRONICH

El Modelo de Madronich (MM), desarrollado en secciones anteriores, sirve para predecir el valor del índice ultravioleta en función de parámetros atmosféricos (como la altura de la columna de ozono) y geográficos (latitud, longitud, incorporadas a coseno de tita). Como se explicó, en el MM por medio de una correlación matemática se calculan las constantes a, b y c, ajustando la correlación para obtener el valor del IUV a la dispersión de datos medidos. En numerosos trabajos ya ha sido estudiada la variación del IUV con la altura, por ejemplo en el “Manual de Índice Ultravioleta”, de Luis Vallejo Delgado, Chile, se muestra que por cada Kilómetro en que aumenta la altitud, el IUV se incrementa en un 8%. Por lo que se deduce que las constantes a, b y c no serán las mismas si cambiamos los parámetros geográficos, longitud, latitud y altura sobre el nivel del mar. Llamamos al “nuevo” Modelo de Madronich, con las constantes corregidas (a, b y c) para el emplazamiento de medición en la ciudad de Salta, Modelo Local de Madronich (MLM). Para calcular las constantes del MLM se trabajó en conjunto con el Grupo de Radiación Solar de la Universitat de Valencia, España.

A continuación se detalla el procedimiento seguido para poder construir el MLM: Los sensores, como ya se ha dicho, almacenan y entregan los datos, por ejemplo los correspondientes a un breve lapso temporal cercano al mediodía solar del 1 de Junio del 2013 en la ciudad de Salta (Tabla 1). Luego de aplicar las constantes de calibración de cada sensor, se obtienen los datos de radiación UVER como intensidad e Índice UV y los de intensidad de Radiación Global (Tabla 2).

Fecha y hora	UVER(mV)	Global (mV)
2013-06-01 13:00:00	665.5	5.65
2013-06-01 13:01:00	667.6	5.653
2013-06-01 13:02:00	672.3	5.678
2013-06-01 13:03:00	673.5	5.681
2013-06-01 13:04:00	673.7	5.683

Tabla 1: Datos crudos de radiación UVER y Global, 1/6/2013, Salta Capital

Fecha y hora	UVER (W/m2)	IUV	Global (W/m2)
2013-06-01 13:00:00	0.126	5.03	695.81
2013-06-01 13:01:00	0.126	5.05	696.18
2013-06-01 13:02:00	0.127	5.08	699.26
2013-06-01 13:03:00	0.127	5.09	699.63
2013-06-01 13:04:00	0.127	5.09	699.87

Tabla 2: Datos procesados de radiación UVER y Global, 1/6/2013, Salta Capital.

De todos los datos medidos, durante el año 2013 y a intervalos temporales de un minuto, necesitamos seleccionar los correspondientes a condiciones de cielo claro. Estos nos permitirán adaptar, ajustar y validar el modelo de Madronich a las condiciones propias de altura de la ciudad de Salta.

Dada la variabilidad del clima, existen pocos días en los que el cielo se presenta en condiciones de claridad durante todo su transcurso. Por lo tanto se seleccionaron datos de intervalos temporales en los cuales se satisfagan las condiciones de cielo prístino. Para poder seleccionar los momentos de cielo claro usamos como herramienta el modelo ARG P que predice la Radiación Solar Global para condiciones de cielo claro, conociendo solamente la altura del lugar y el ángulo cenital (Salazar, 2009).

Se aplicó este modelo a todos los momentos donde hubo toma de datos, esto permitió realizar comparaciones entre la radiación global incidente medida por los sensores y la estimada correspondiente por el modelo ARG-P. Luego, estas correspondencias nos permitieron seleccionar los valores medidos que correspondían a condiciones de cielo claro en los diferentes emplazamientos. Un ejemplo se muestra en la Tabla 3.

Fecha y hora	G ARG-P (W/m2)	G (W/m2)
2013-06-01 13:00:00	699.2	695.8
2013-06-01 13:01:00	699.6	696.2
2013-06-01 13:02:00	699.9	699.3
2013-06-01 13:03:00	700.2	699.6
2013-06-01 13:04:00	700.5	699.9

Tabla 3: Ejemplo de correspondencia entre modelo ARG-P y mediciones “in situ”.

En la Tabla 3 la columna G ARG-P muestra la radiación global predicha para ese momento en la ciudad de Salta con condiciones de cielo claro, según el modelo ARG-P, mientras que en la columna G se encuentra la radiación global medida por el sensor. Las curvas de radiación global medida y predicha por el modelo ARG-P, para el 1 de Junio del año 2013 (día de cielo claro) en la ciudad de Salta se muestran en la figura 3.

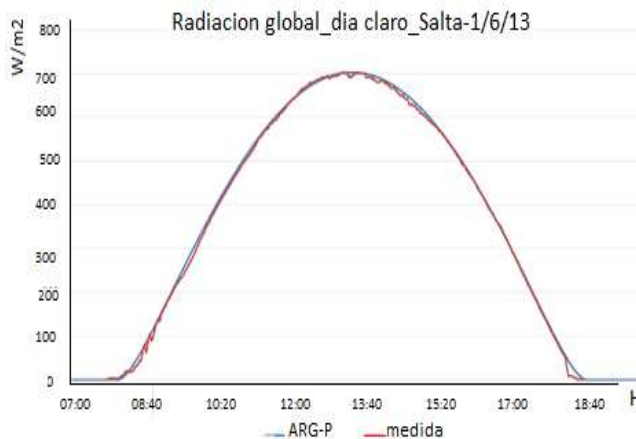


Figura 3: Radiación Global medida y predicha por el modelo ARG-P, cielo claro en Salta Capital, 1/6/13.

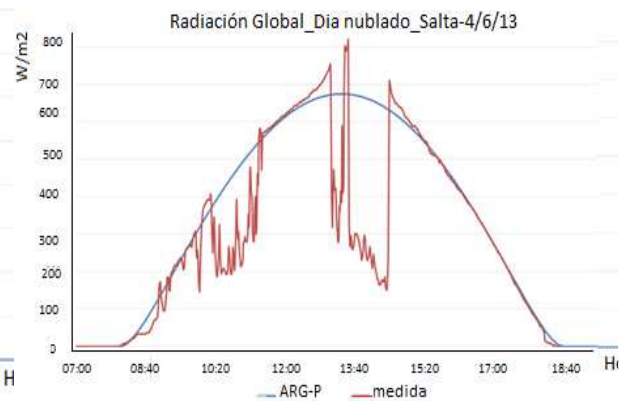


Figura 4: Radiación Global medida y predicha por el modelo ARG-P, cielo parcialmente nublado en Salta Capital, 4/6/13.

En la Figura 4 se muestra un día parcialmente nublado (4 de Junio), observándose las diferencias entre la radiación medida y la estimada por el modelo ARG-P.

Para delimitar los momentos de cielo claro en los datos medidos se usó arbitrariamente la condición siguiente:

$$|(G - G_{argp})| < 50 \text{ W/m}^2 \quad (5)$$

Luego de seleccionar los momentos de cielo claro para todos los datos de 2013 de las tres estaciones, los cuales utilizamos para ajustar y validar el modelo que determina el Índice Ultravioleta; seleccionamos las variables del mismo: coseno del ángulo cenital ($\cos\theta_z$, calculado en función de parámetros geográficos) y altura de la columna de ozono (Ω , medidos por la NASA).

Como último filtro para seleccionar datos, se usó la condición fijada por Madronich para el ángulo cenital. Esta condición postula que para tener un error menor al 10% se debe fijar el mismo entre 0° y 60° . Esta restricción transportada al valor de μ_0 implica:

$$\mu_0 > 0.5 \quad (6)$$

Estos datos recopilados y filtrados generaron una nube de puntos en un gráfico con tres variables: IUV, μ_0 y Ozono. Luego de un tratamiento de correlación de variables utilizando la herramienta “chi cuadrado”, se recalcularon las tres constantes (a, b y c) que mejor ajustaban la ecuación (3) a la nube de datos. Con estas tres nuevas constantes se construye el MLM.

$$IUV = 10.7143\mu_0^{2.41129} \left(\frac{\Omega}{300}\right)^{-1.15067} \quad (7)$$

VALIDACION DEL MLM Y CONTRASTE CON EL MM

Para poder realizar una evaluación de la pertinencia del Modelo Local de Madronich, y sus ventajas o no respecto al MM es necesario hacer cuadros comparativos de sus predicciones y compararlas con los datos de Índice UV medidos.

A todos los meses se les aplicó el mismo procedimiento, ya descripto, obteniéndose tablas con las siguientes variables: tiempo, $\cos\theta_z$, altura de la columna de ozono, IUV medido y IUV MLM. Por ejemplo, para el día 1 de Junio de 2013 en la estación de Salta Capital, las variables resultan (luego de hacer el filtro $\mu_0 > 0.5$):

Fecha y hora	μ_0	Ω (DU)	IUV (medido)	IUV MLM
2013-06-01 13:00:00	0.683	233.3	5.03	5.72
2013-06-01 13:01:00	0.683	233.3	5.05	5.72
2013-06-01 13:02:00	0.684	233.3	5.08	5.73
2013-06-01 13:03:00	0.684	233.3	5.09	5.73
2013-06-01 13:04:00	0.684	233.3	5.09	5.74

Tabla 4: Ejemplos de parámetros del modelo MLM e IUV medido y estimado en Salta Capital.

Luego se calculó también el Índice UV predicho por el MM. A continuación se muestra, en la figura 5, el gráfico de los valores de Índice Ultravioleta estimado por los dos modelos, junto con el IUV medido, para el día de análisis:

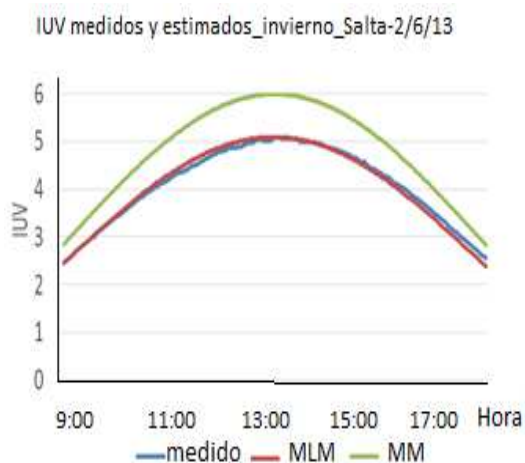


Figura 5: Índice UV medido y estimado por MLM y MM el 2/6/13.

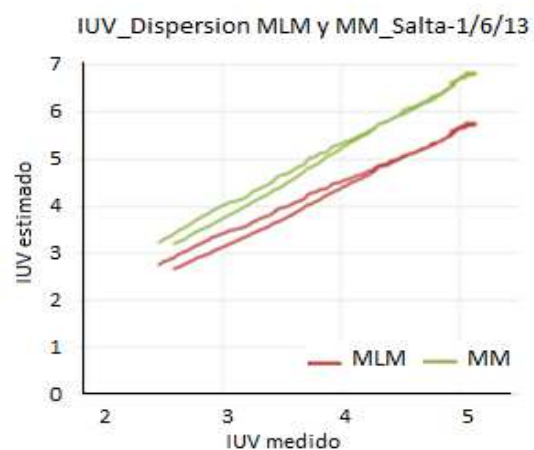


Figura 6: dispersión de IUV estimados por MLM y MM vs medido, 1/6/13.

En la figura 5 se observa que el MLM ajusta mejor a los datos experimentales que el MM. Al ser la prevención uno de los principales objetivos de la predicción de los valores de IUV siempre será

preferible una sobre estimación del IUV, y no una sub estimación, que podría generar faltas de cuidado de la radiación solar en la población. Otra forma de presentar los resultados de los modelos y su cercanía a los datos medidos es la mostrada en la figura 6, en la cual se grafica la dispersión del índice ultravioleta estimado versus el medido.

La evaluación cuantitativa sobre que modelo acerca mejor sus predicciones a los datos experimentales se realizó usando herramientas estadísticas, como el MBE, MABE, RMSE, RMSE%, desviación estándar, etc. Para el día en análisis resulta:

	MLM	MM
MBE	-0.472	-1.332
MABE	0.472	1.332
RMSE	0.500	1.373
RMSE%	10.776	24.969

Tabla 5: estadísticos entre los distintos modelos de predicción de IUV.

En la tabla 6 se observa claramente la superioridad del MLM sobre el MM para los datos analizados. Puntualmente sirve comparar el RMSE%, resultando casi dos veces y media mayor el error para el modelo original de Madronich que para el modelo modificado para el sitio de medida.

RESULTADOS

Comparación diaria

Durante todo el año 2013 se realizaron mediciones. Mostramos a continuación gráficos de días representativos de algunos de los meses analizados en este trabajo para las diferentes estaciones del año.

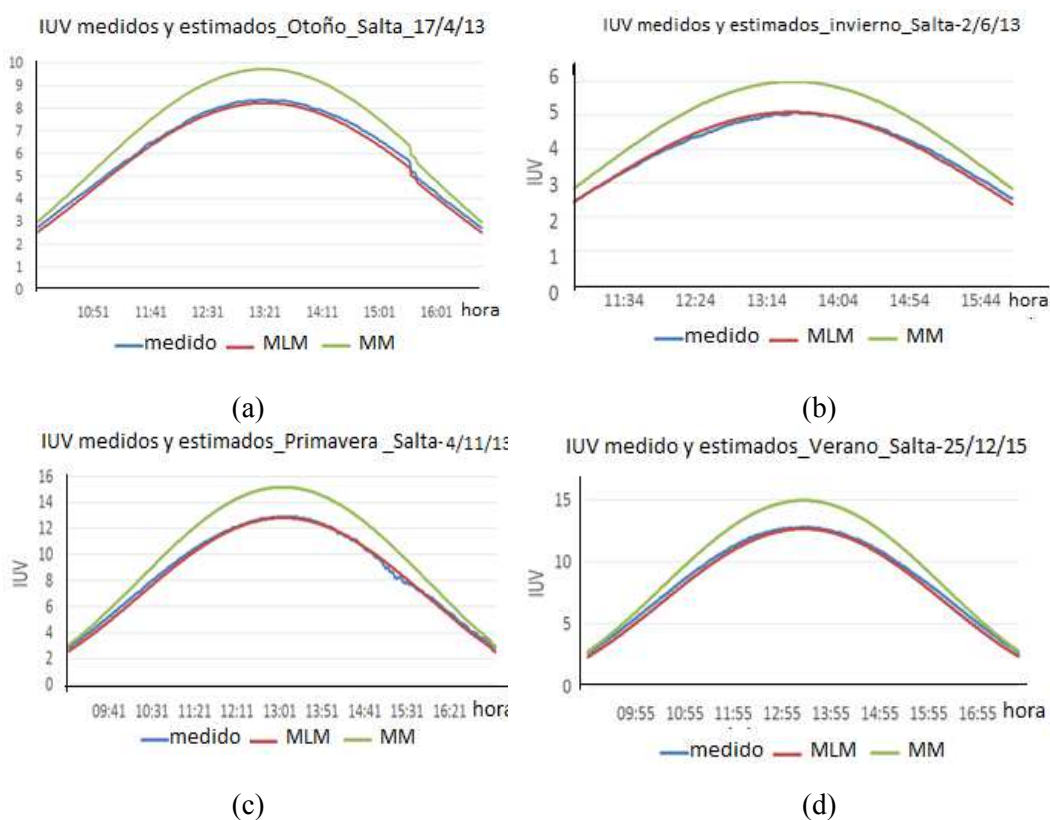


Figura 7: IUV medidos y estimados por el MLM y MM los días: (a) 17/4/13, (b) 02/6/13, (c) 04/11/13 y (d) 25/12/13

Se realiza la comparación mes a mes entre el Índice UV medido y los IUV estimados por los dos modelos trabajados, el MM y los MLM. Se ve de forma cualitativa en los gráficos, y luego de forma cuantitativa de la mano de las herramientas matemáticas de la teoría de errores la comparación entre los modelos y los datos medidos.

Comparación Anual

El IUV máximo medido en verano puede ser más del doble que su correspondiente en invierno. Entonces, para poder realizar una comparación integral entre los modelos y los datos obtenidos por los sensores es necesario eliminar el factor estacional. Esto se consigue trabajando sobre el año completo y no sobre los meses por separado.

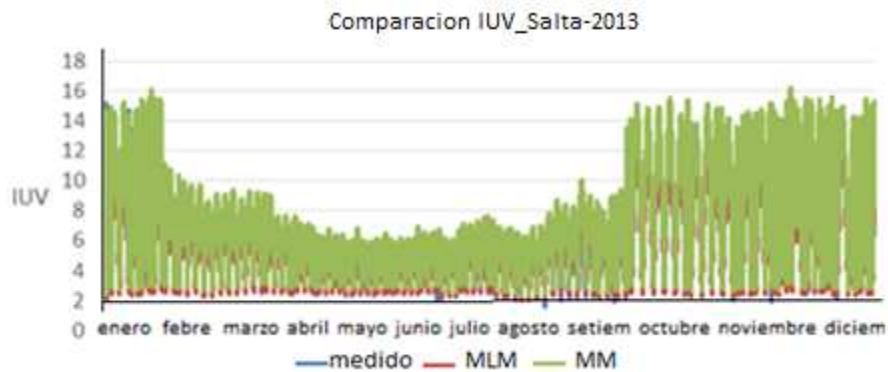
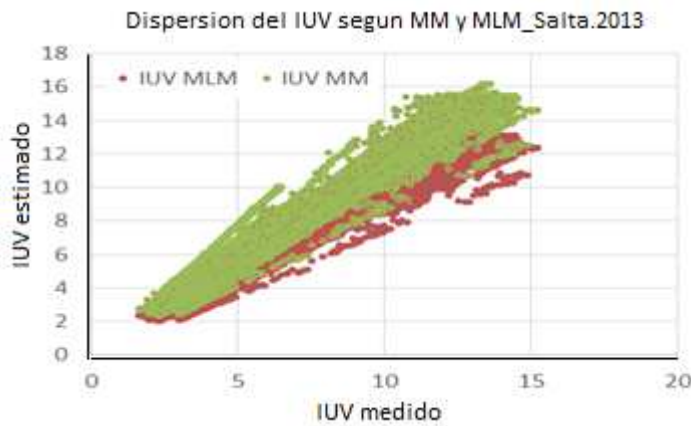


Figura 8: IUV medido y estimados por el MLM y MM para el año 2013

Se observa en la figura 8 que la variación de la radiación UV medida entre el invierno y verano es grande. A la vez también se ve, en la figura 9, una buena aproximación de ambos modelos a los datos experimentales, aunque con una clara ventaja del MLM sobre el MM.



2013 Salta	MLM	MM
MBE	- 0.134	1.002
MABE	0.367	1.019
RMSE	0.532	1.223
RMSE%	8.370	16.307

Figura 9: dispersión de IUV estimados por MLM y MM vs medido en el año 2013

Tabla 6: Parámetros estadísticos para el año 2013 de los modelos MLM y MM.

En la tabla 6, el valor de MBE indica si el modelo sobreestima o subestima el valor medido; para el MLM, por ser mayor que cero, se observa una subestimación de los valores medidos, aunque pequeña. Para el MM, por el contrario, y al ser un valor negativo, se observa una sobreestimación de los valores de IUV. Observando los valores de RMSE% se ve que el MLM ajusta mejor a los valores medidos, siendo su RMSE% la mitad aproximadamente del error obtenido por el Modelo de Madronich original.

CONCLUSIONES

Pueden realizarse predicciones del Índice UV con un error menor al 10% en un determinado sitio de trabajo en función del coseno del ángulo cenital y la altura de la columna de ozono. Esto permite

conocer el IUV estimado sin contar con sensores en el lugar, ya que el ángulo cenital es una función geométrica-temporal de variables fijas, y la altura de la columna de ozono se mide por satélite.

Observando el MBE, se deduce que el Modelo de Madronich sobreestima la Radiación Ultravioleta, mientras que el Modelo Local de Madronich los subestima, aunque por una diferencia mucho menor. También, en todos los casos el MLM claramente presenta una mejor aproximación a los datos medidos que el MM lo que se demuestra por sus valores de RMSE%.

En el trabajo de Madronich se plantea que si el error de los valores de IUV estimados es menor al 10%, el método es aceptable. Por lo que concluimos que el método utilizado para realizar el MLM es aplicable ventajosamente.

Al ser el IUV una variable de mucha estacionalidad, aumentando la base de datos medidos para calcular el set de constantes, podría mejorarse aún más la precisión del Modelo y predecir el Índice Ultravioleta en lugares en donde no se cuente con posibilidad de instalar sensores

AGRADECIMIENTO: Al grupo de estudios de radiación UV de la Universitat de Valencia, Marín M.J, Utrillas P.y Martínez Lozano J.A.

REFERENCIAS

- Da Souza Correa, T. G. Et al. (2013). Análisis de los efectos de valores extremos de irradiancia UV eritemática en la ciudad de Salta. ASADES.
- Denegri, M.J. (2012). Evaluación de diferentes modelos utilizados para la estimación de la radiación fotosintéticamente activa en planos. ASADES.
- Madronich, S. (2007). Analytic Formula for the Clear-sky UV Index. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO.
- Marín Fernández, M. J. (2007). Estudio de la irradiancia solar Ultravioleta B y eritemática en la comunidad valenciana. Tesis Doctoral. UNIVERSITAT DE VALENCIA
- Myers, D. R. (2013). Solar Radiation. New Mexico State University.
- Raichijk C. y Lanson A. (2011) Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Salazar, G. Et al (2009). Análisis preliminar de valores de irradiancia global horizontal, temperatura, humedad relativa y humedad absoluta tomados en un sitio de altura de la Provincia de salta (Argentina). ASADES.
- Salazar, G. Et al. (2010). Practical models to estimate horizontal irradiance in clear sky conditions: Preliminary results. Renewable Energy, an International Journal.
- Suárez, H. (2010). Radiación UV e Índice Ultravioleta en Salta: Caracterización de productos de uso corriente utilizados para la protección personal. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Salta.
- Suárez, H. Et al. (2013). Medición de radiación eritémica en sitios de altura de la Provincia de Salta. ASADES.
- Vallejo Delgado, L. (2003). Índice Ultravioleta. Departamento de Física, Universidad de Antofagasta.
- Wright, J. (2000). Correlaciones de la fracción difusa. Departamento de Física, Universidad Nacional. Costa Rica.
- Yang, K. Et al. (2009). On downward shortwave and longwave radiations over high altitude regions: Observation and modeling in the Tibetan Plateau. Agricultural and Forest Meteorology.

ABSTRACT

MADRONICH MODEL UV INDEX IN SALTA

You want to establish the representativeness of UVI prediction model in clear sky conditions formulated by Madronich (MM) and implemented in the city of Salta (1200 m). To vary with geography constants of this model was necessary to create a local model Madronich (MLM). In this work we were analyzed and compared using an analysis of how well the model and validation UVI values measured clear sky during 2013-2014 with estimated values for MM and MLM. First filtered data, then the constants were estimated and finally local estimates MLM, MM and the measured

values are compared. The models underestimate the UVI, the MLM is a better approximation to the measured data to the GM. Mistakes by using the MLM are less than 10%.