



Servicio
Meteorológico
Nacional

Información sobre radiación solar UV en Argentina como base para distintas aplicaciones

Nota Técnica SMN 2020-83

**Fernando Nollas¹, Pablo Facundo Orte², Eduardo Luccini^{3,4,5},
Elían Wolfram^{3,6}, María Mercedes Poggi¹ y Gerardo Carbajal¹**

¹ Dirección Central de Monitoreo del Clima, Servicio Meteorológico Nacional.

² Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa. CITEDEF, Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET, Argentina

⁴ CONICET. Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Córdoba, Argentina.

⁵ Facultad de Química e Ingeniería del Rosario, Pontificia Universidad Católica Argentina.

⁶ Dirección de Redes de Observación, Servicio Meteorológico Nacional

Noviembre 2020



Ministerio de Defensa
Presidencia de la Nación

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

La intensidad de la radiación solar ultravioleta (UV) que incide sobre la superficie de nuestro planeta tiene múltiples consecuencias para los seres vivos y materiales expuestos. En esta nota técnica se recopila y detalla la información disponible sobre el variado rango de niveles de intensidad de radiación solar UV que presenta el territorio de Argentina en las distintas escalas geográficas y temporales, de interés para toda clase de aplicaciones.

Abstract

The intensity of solar ultraviolet (UV) radiation that reaches the surface of our planet has multiple consequences for living beings and exposed materials. This Technical Note compiles and details the information available on the varied range of intensity levels of solar erythemal UV radiation that the Argentine territory presents in the different geographical and temporal scales, of interest for all kinds of applications.

Palabras clave: radiación solar UV, climatología, Índice UV, Argentina, aplicaciones.

Citar como:

Nollas F., P. F. Orte, E. Luccini, E. Wolfram, M. M. Poggi, y G. Carbajal, 2020: Información sobre radiación solar UV en Argentina como base para distintas aplicaciones. Nota Técnica SMN 2020-83

1. INTRODUCCION

La radiación solar ultravioleta (UV), con longitudes de onda entre 200 y 400 nm, se divide básicamente en tres componentes: UVC (200-280 nm), UVB (280-320 nm) y UVA (320-400 nm). La radiación solar UVC es totalmente atenuada por las capas altas de la atmósfera terrestre, mientras que la radiación UVB y UVA corresponde al rango de radiación solar con mayor energía que alcanza la superficie de la Tierra, capaz de producir modificaciones a nivel molecular en células orgánicas e inorgánicas. Por lo tanto, la exposición de seres vivos y materiales a la radiación solar UVB y UVA en distintos plazos temporales causa una variedad de efectos, algunos de los cuales son beneficiosos pero muchos otros son perjudiciales.

En la práctica, la irradiancia solar UV eritémica (irradiancia solar filtrada por la respuesta de acción eritémica de la piel definida por McKinlay y Diffey, 1987) sobre plano horizontal, es el parámetro más estudiado y difundido. Asimismo, es la referencia para cuantificar los niveles de radiación solar UV y el riesgo asociado, dado que en base a la misma se define el Índice UV (IUV) como la irradiancia eritémica en unidades de W/m² multiplicada por un factor de 40 m²/W. Las escalas numérica, de colores y riesgo del UVI fueron estandarizadas por la Organización Mundial de la Salud en el año 2002 (OMS, 2002). La información que se brinda en la presente nota se basa en irradiancia eritémica.

El territorio continental de la República Argentina presenta una gran amplitud de niveles de radiación solar UV, tanto geográficos como estacionales (Luccini y otros, 2006), haciéndolo propicio para un significativo número de consideraciones que abarcan temas de investigación básica y aplicada, salud pública, salud laboral, tratamientos médicos específicos, evaluación de paradigmas culturales sobre exposición al sol, envejecimiento y deterioro de materiales, cambio climático, etc. Entre dichas aplicaciones, la presente nota técnica fue motivada por la interacción entre el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Asociación de Higienistas de la República Argentina (AHRA) en relación al riesgo laboral asociado con la exposición a la radiación solar UV de trabajadores que desarrollan sus tareas en diferentes sitios y condiciones, muchas de ellas a la intemperie.

Con motivo de dar un marco formal en la gestión del riesgo ante la radiación solar UV, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación designó, en el año 2015, la Comisión de Trabajo de Gestión de Riesgo que elaboró el "Protocolo interinstitucional de gestión de información ante la amenaza de sobreexposición a la radiación solar ultravioleta en superficie". En el mismo se establece un nivel umbral de intensidad de la radiación solar UV en superficie con valores de IUV mayores a seis (IUV > 6) para la generación de alertas en exposiciones de corto plazo, como parámetro indicador de amenaza por sobreexposición a la radiación solar UV.

Con el propósito de ser útil a las múltiples aplicaciones mencionadas, esta nota técnica detalla la información geográfica y estacional disponible sobre niveles de radiación solar UV en el territorio continental de Argentina en distintos plazos: climatológico, pronóstico diario y un análisis de estimaciones de dosis eritémica teórica en función del tiempo de exposición. Asimismo, se espera que a la brevedad se presenten online, en tiempo real, las mediciones de IUV en cada una de las estaciones del SMN.

Dado que la nubosidad es el principal factor modulador de la radiación solar UV, en la nota técnica se presentan mapas que consideran valores tanto para cielo despejado como con nubosidad promedio. Los valores promedio para cielo despejado son más elevados y tienen una interpretación de más corto plazo en las exposiciones a la radiación solar que aquellos que incluyen la nubosidad promedio. Básicamente, los valores promedio para cielo despejado aplican a situaciones en que el sol directo no se encuentre cubierto por nubes (aun cuando haya nubes dispersas presentes en el cielo, las cuales pueden incluso intensificar la

radiación UV por sobre el valor a cielo despejado durante varios minutos). Por otro lado, las estimaciones de radiación solar UV considerando la nubosidad promedio aplican a lapsos de tiempo más extensos, del orden de un par de horas en las cuales los campos de nubes típicos actúan en la atenuación de la radiación solar.

Por convención, para indicar el valor más riesgoso del día, los datos de IUUV (y por lo tanto los mapas de IUUV que aquí se presentan) se refieren típicamente al mediodía solar, es decir el momento del día en que el sol se encuentra más alto sobre el horizonte.

En el texto principal de la presente nota se presentan mapas climatológicos sobre base anual, que sirven como base general para cada aplicación. En los anexos se brindan mapas climatológicos sobre base mensual, mapas diarios del pronóstico de Índice UV y alternativas en desarrollo que brinden información UV que se pueda personalizar.

2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA LA GENERACIÓN DE LOS MAPAS

La irradiancia solar UV eritémica a lo largo de toda la extensión del territorio argentino fue calculada en cada punto de una grilla con resolución geográfica latitud/longitud de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (aproximadamente 50 km x 50 km) y resolución temporal de 1 hora mediante un modelo de transferencia radiativa UV, empleando como datos de entrada en cada punto: la elevación del suelo, valores climatológicos satelitales de albedo UV del suelo, columna vertical total de ozono atmosférico, aerosoles atmosféricos y cobertura nubosa (Luccini et al., 2006). Un ejemplo de los cálculos, graficados con el pixelado de la resolución geográfica original se muestra en el mapa de la Figura 1-izquierda para el IUUV promedio del mes de marzo.

A fin de delimitar de un modo suavizado las regiones geográficas que abarca cada unidad o rango, se realizó una interpolación geográfica con resolución de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ sobre dichos cálculos originales mediante el algoritmo de kriging, cuyo resultado se muestra en la Figura 1-derecha. Todos los mapas que se presentan en esta nota técnica incluyen este procesamiento de interpolación.

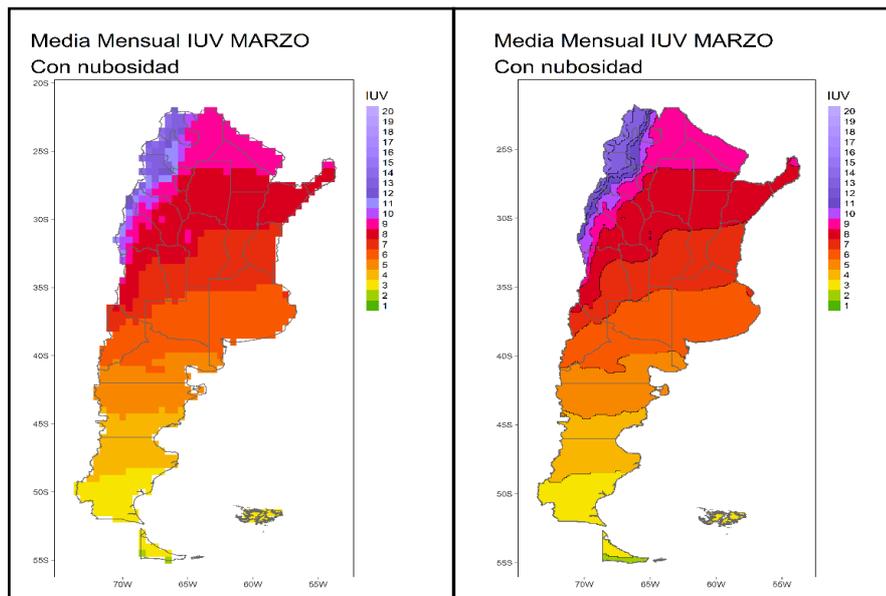


Figura 1. Mapas de IUUV promedio para el mes de marzo considerando la nubosidad, en resolución geográfica original de los cálculos ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$; izquierda) y en resolución geográfica interpolada de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (derecha).

3. MAPAS CLIMATOLÓGICOS ANUALES

3.1 Mapas de promedio anual de IUV

En esta sección se presentan mapas que permiten una distinción regional general de los niveles de radiación solar UV en Argentina, obtenidos sobre un análisis anual a partir de los mapas climatológicos de promedio mensual de IUV (Luccini et al, 2006).

Las Figuras 2 y 3 presentan exactamente la misma información: el promedio anual de IUV obtenido de los 12 valores mensuales de IUV por cada pixel original de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, sobre los cuales se realizó una interpolación a $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ según se detalla en la sección 2. La Figura 2 presenta el promedio anual de IUV en los diferentes rangos numéricos estándar asociados a niveles de riesgo de IUV (OMS, 2002), mientras que la Figura 3 los presenta detallados por cada unidad de IUV (OMS, 2002) para mayor detalle regional.

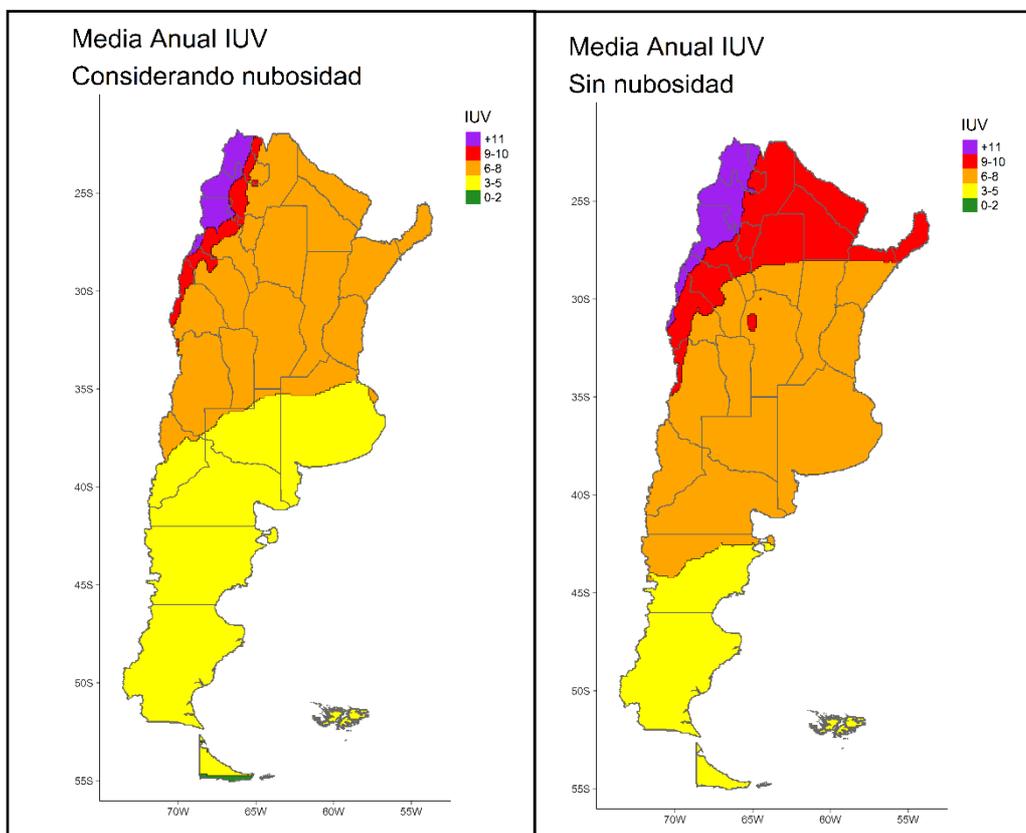


Figura 2. Mapas de promedio anual de IUV en Argentina considerando la nubosidad (izquierda) y para cielo despejado (derecha) obtenidos sobre la base de valores climatológicos de promedio mensual. La división en 5 regiones responde a los rangos de riesgo establecidos por la OMS (2002).

Es necesario aclarar que, si bien la escala de los mapas presenta colores para números enteros, en la confección de los mismos se consideró que el color correspondiente a un valor de IUV es el que se corresponde con el número entero sin redondear. Así, por ejemplo, un valor de IUV= 6.77 se marca con el color correspondiente al número 6 mientras que un valor de IUV=11.1 se marca con el color correspondiente

al número 11. Asimismo, se aclara que el color correspondiente al IUV=1 se utiliza para los valores comprendidos en el rango de 0 a 1.99.

Se observa en las Figuras 2 y 3 una clara regionalización de los valores de IUV relacionada con la ubicación geográfica. Se puede ver una dependencia fuertemente asociada con la latitud y con la altura sobre el nivel del mar, presentando valores más elevados a medida que la latitud se acerca al Ecuador y la altura del terreno aumenta.

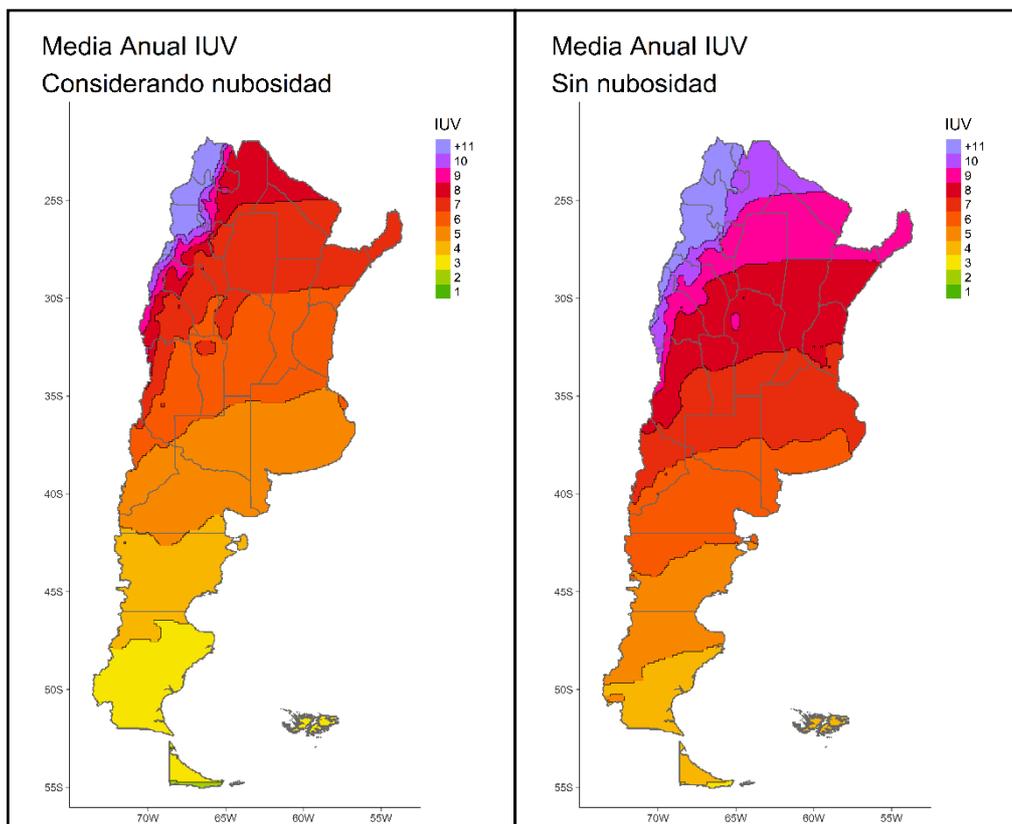


Figura 3. Mapas de promedio anual de IUV en Argentina considerando la nubosidad (izquierda) y para cielo despejado (derecha) obtenidos sobre la base de valores climatológicos de promedio mensual. La división en regiones responde a la escala de colores por cada unidad de IUV establecida por la OMS (2002).

3.2 Mapas anuales basados en el umbral IUV=6

Teniendo en cuenta el comportamiento estacional de la radiación solar UV y el umbral de IUV>6 como indicador de amenaza por sobreexposición en la radiación solar UV en superficie por la Comisión de Trabajo de Gestión de Riesgo, en esta nota técnica se presenta un análisis de frecuencia que considera la cantidad de meses en la que el IUV promedio mensual supera el valor 6. Este análisis se realizó pixel por pixel en los datos climatológicos mensuales tanto para cielo despejado como con nubosidad. El resultado por pixel se presenta con un número entero que puede estar en el rango de 0 a 12 meses. En las Figuras 4 y 5 se presentan mapas donde se muestra la cantidad de meses que se supera el IUV de 6. La Figura 5 fue realizada con los mismos datos que la Figura 4 pero posee un mayor detalle dado que los valores se encuentran en

rangos unitarios. Se aclara que, si bien los colores de las Figuras 2 a 5 son similares, los parámetros mostrados en las Figuras 2 y 3 son muy distintos de los mostrados en las figuras 4 y 5 y no deben confundirse.

En las Figuras 4 y 5 se puede ver que la zona del Noroeste argentino (NOA) presenta una gran cantidad de meses en los que el promedio mensual de IUV es mayor a 6, poniendo de manifiesto el mayor riesgo potencial que se presenta en dicha región. En contraparte, se puede observar que, a medida que la latitud aumenta hacia el sur, se presenta una menor cantidad de meses que sobrepasan, en promedio mensual, el IUV de 6. Tal es así que, al sur de Santa Cruz y en Tierra del Fuego se presentan 1 o 2 meses únicamente en los que el promedio mensual de IUV supera el valor 6.

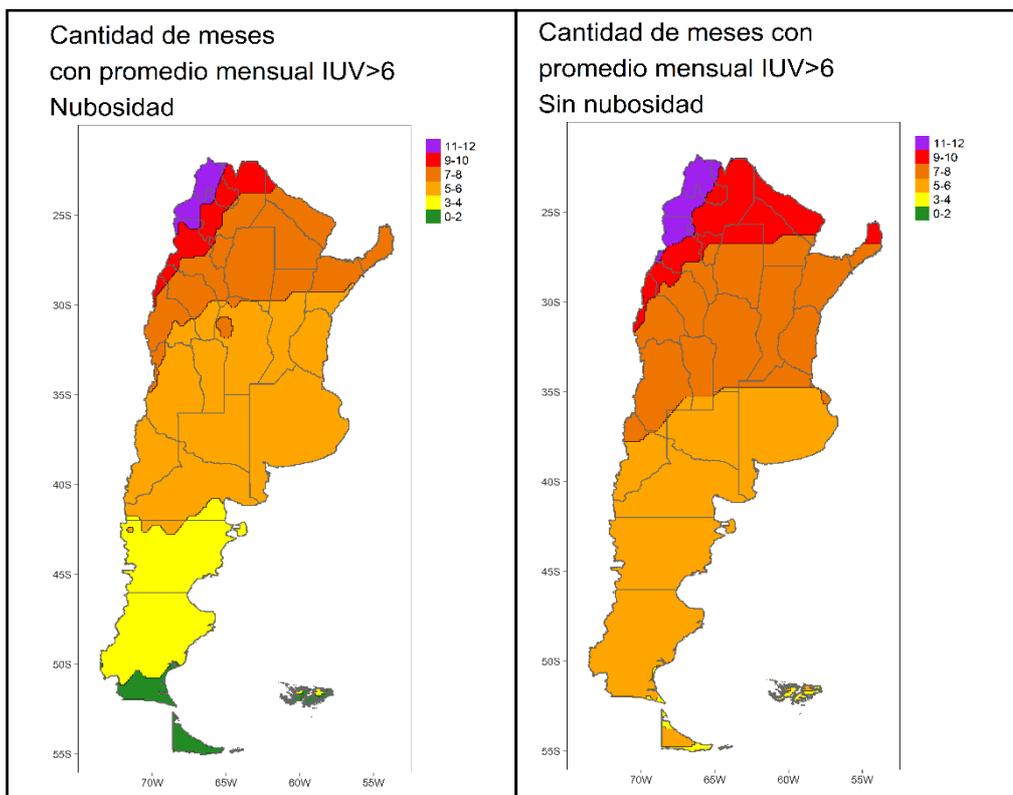


Figura 4. Mapas de número de meses que superan el umbral de IUV=6 en Argentina en 6 regiones, sobre la base de valores climatológicos de promedio mensual.

A modo de respaldo y de ampliación de la información anual presentada, los mapas de promedios mensuales tanto de IUV como de dosis eritémica diaria correspondientes a la climatología (Luccini y otros 2006) se adjuntan como anexos, considerando cielos con nubosidad y sin nubosidad. En el anexo A1 se presentan los mapas mensuales de IUV utilizando la escala de colores ampliada (Luccini y otros 2020) que permite distinguir valores de IUV mayores a 11.

En el anexo A2 se muestran mapas de dosis eritémica diaria en unidades de MED (dosis eritémica mínima, donde 1 MED = 210 J/m² de irradiancia eritémica acumulada). Por convención y con un criterio preventivo, 1 MED se define como la dosis de irradiancia eritémica absorbida por piel humana blanca típica (tipo II o III sin climatizar) que causa enrojecimiento o “eritema” entre 8 y 24 horas después de la exposición al sol. Debido a que no existen rangos y colores estándar asociados a las dosis, se utilizó la paleta de colores “viridis”, que permite distinguirlos claramente.

En el anexo B se informa acerca del pronóstico diario de IUV, que se presenta en la página web del SMN con una antelación de 24 hs.

El anexo C detalla una herramienta en desarrollo para su implementación en el mediano plazo como una opción para tomadores de decisión en relación a la seguridad laboral teniendo en cuenta la dosis de exposición en diferentes horarios.

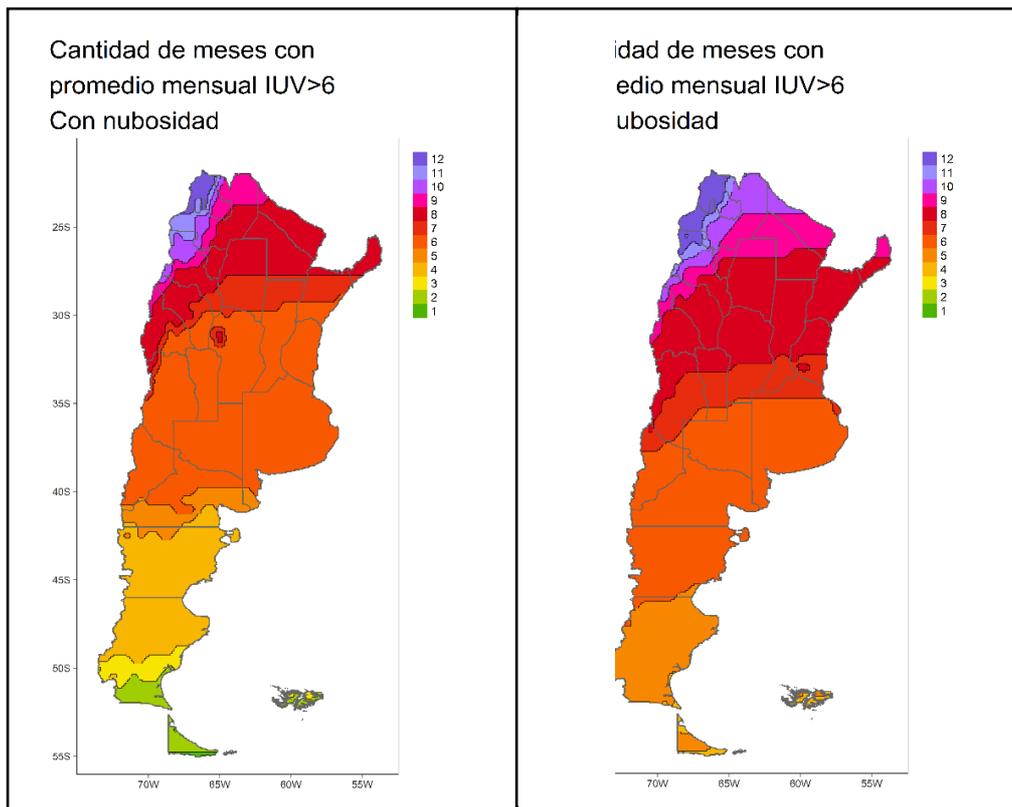


Figura 5. Mapas de número de meses que superan el umbral de IUV=6 en Argentina en 12 regiones, sobre la base de valores climatológicos de promedio mensual.

4. REFERENCIAS

McKinlay, A. F., y B. L. Diffey, 1987: A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, in Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations, edited by W. R. Passchier and B. M. F. Bosnjakovich, pp. 83– 87, Elsevier Sci., New York.

OMS, 2002: Organización Mundial de la Salud. Global Solar UV Index: A Practical Guide. (<https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf>).

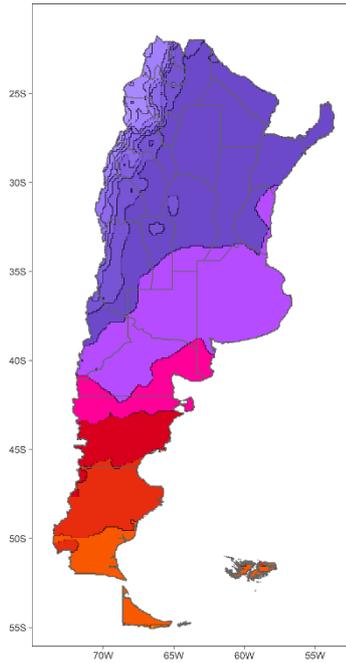
Luccini, E., A. Cede, R. Piacentini, C. Villanueva, y P. Canziani, 2006: Ultraviolet climatology over Argentina, J. Geophys. Res., 111, D17312, doi: 10.1029/2005JD006580.

Luccini E., Carbajal G., Nollas F., Orte F., Wolfram E., 2020: Escala de colores extendida del Índice UV para valores superiores a 11. Nota Técnica SMN 2020-71.

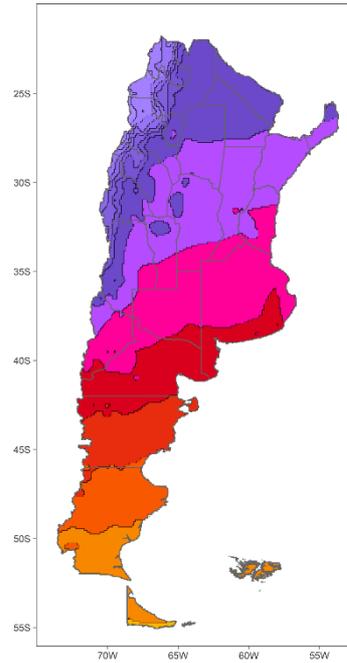
Anexo A1: ÍNDICE UV CLIMATOLÓGICO

A1.1 Mapas de promedios mensuales de índice UV incluyendo nubosidad

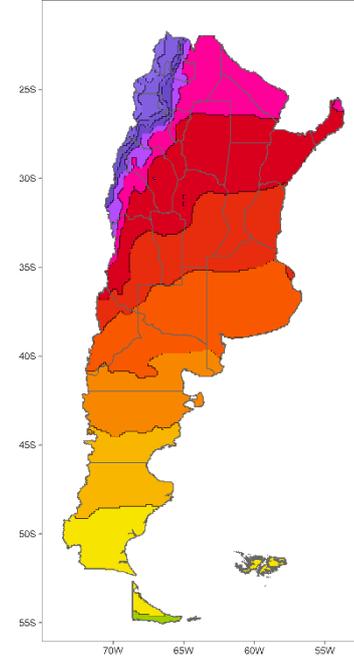
Media Mensual IUUV ENERO
Con nubosidad



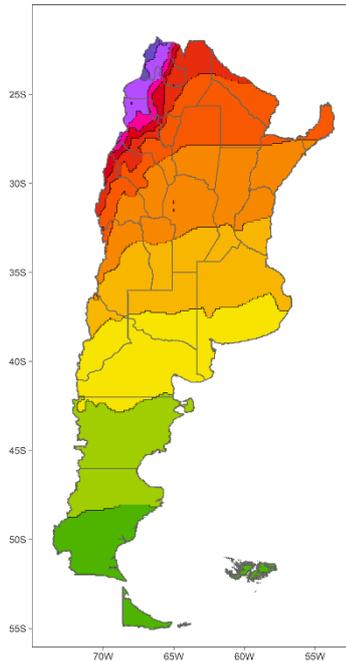
Media Mensual IUUV FEBRERO
Con nubosidad



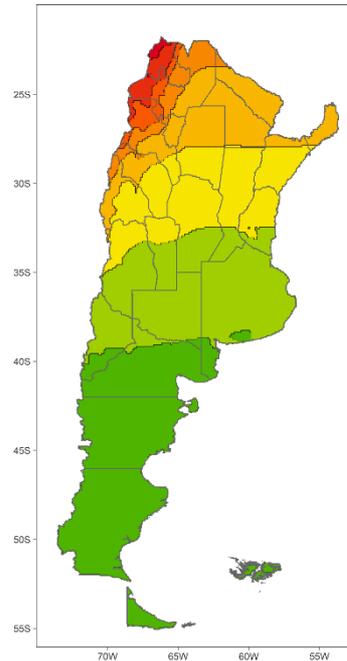
Media Mensual IUUV MARZO
Con nubosidad



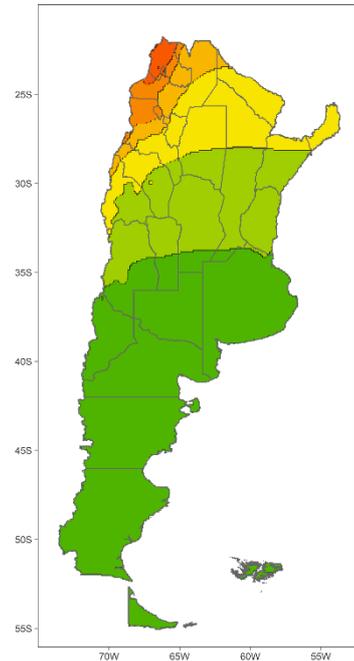
Media Mensual IUUV ABRIL
Con nubosidad



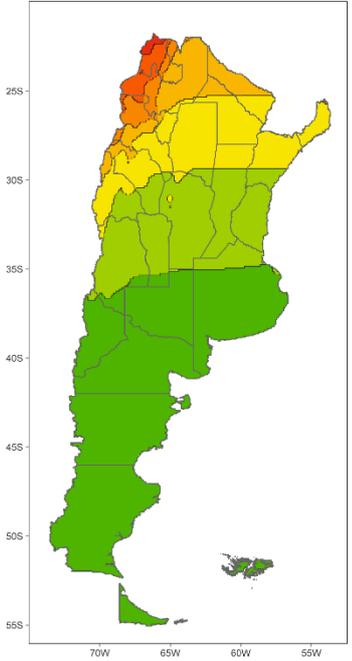
Media Mensual IUUV MAYO
Con nubosidad



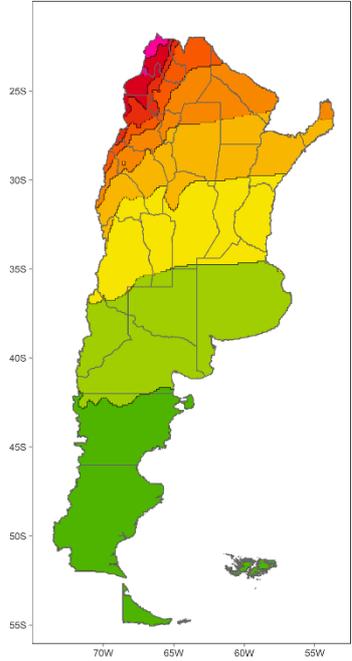
Media Mensual IUUV JUNIO
Con nubosidad



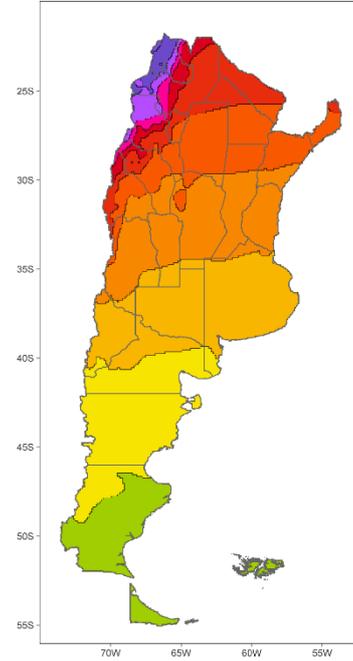
Media Mensual IUV JULIO
Con nubosidad



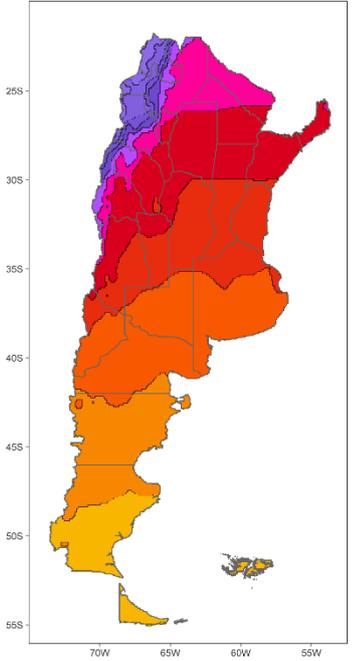
Media Mensual IUV AGOSTO
Con nubosidad



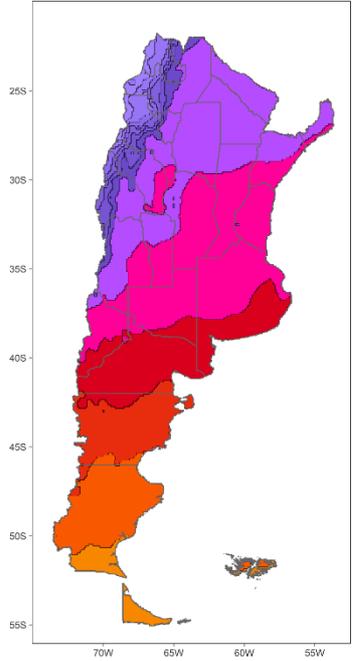
Media Mensual IUV SEPTIEMBRE
Con nubosidad



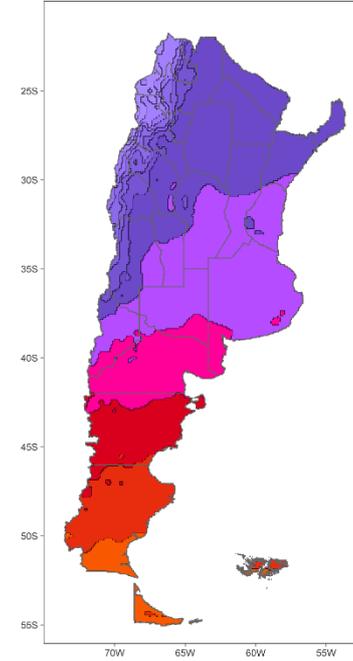
Media Mensual IUV OCTUBRE
Con nubosidad



Media Mensual IUV NOVIEMBRE
Con nubosidad

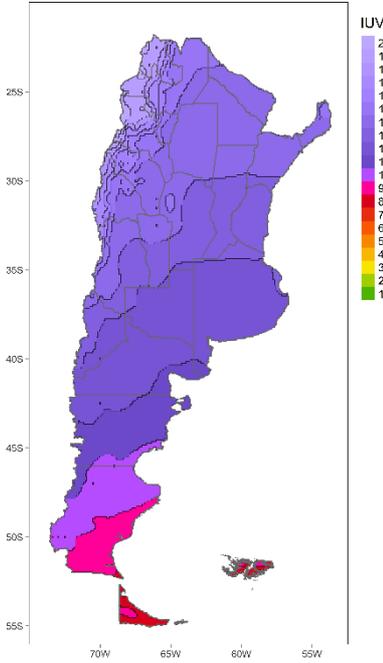


Media Mensual IUV DICIEMBRE
Con nubosidad

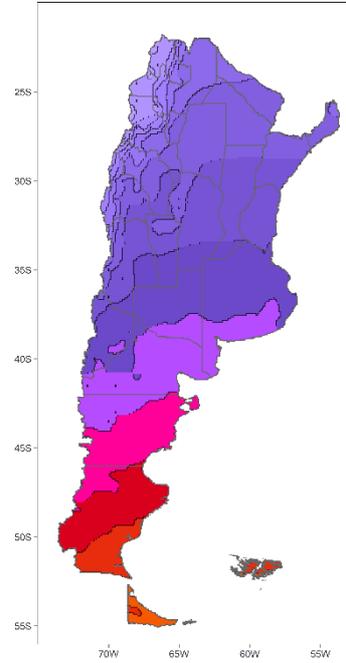


A1.2 Mapas de promedios mensuales de índice UV para cielo despejado

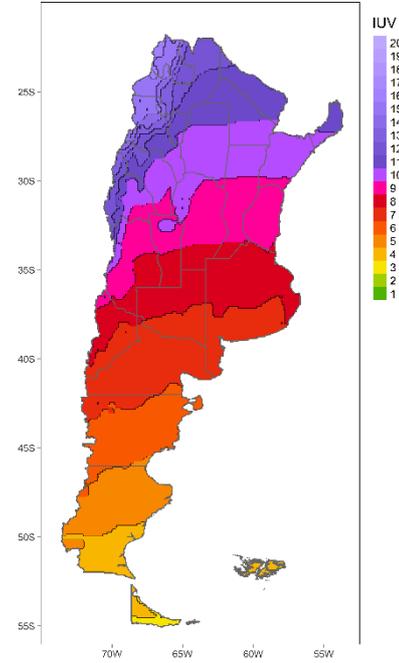
Media Mensual IUV ENERO
Sin nubosidad



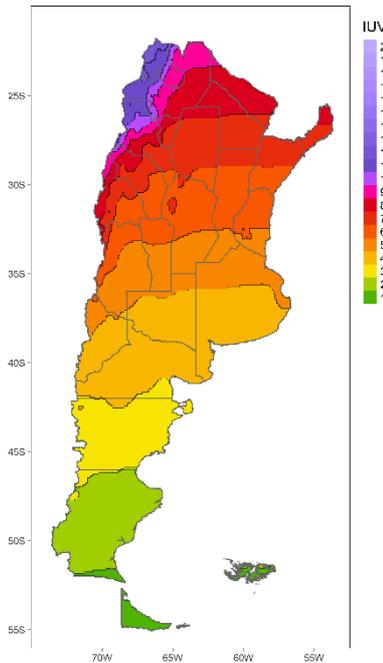
Media Mensual IUV FEBRERO
Sin nubosidad



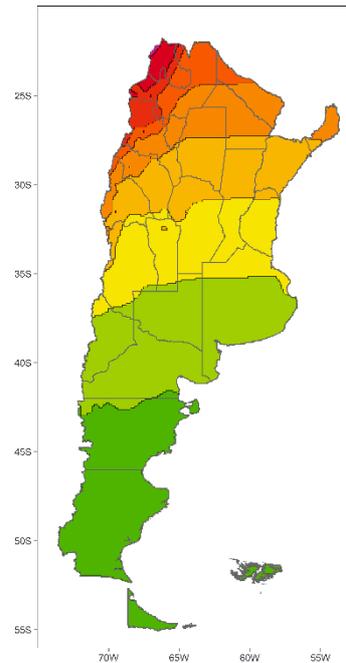
Media Mensual IUV MARZO
Sin nubosidad



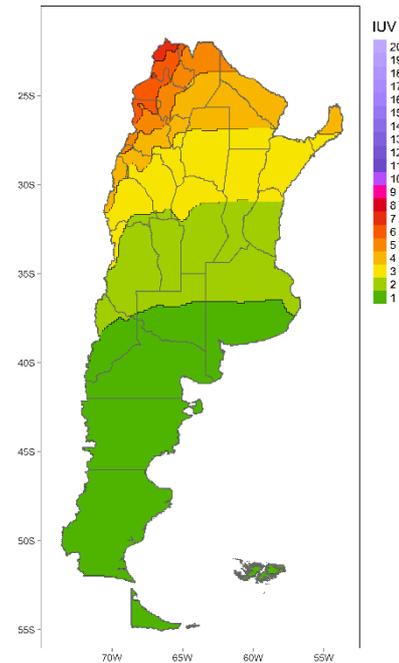
Media Mensual IUV ABRIL
Sin nubosidad



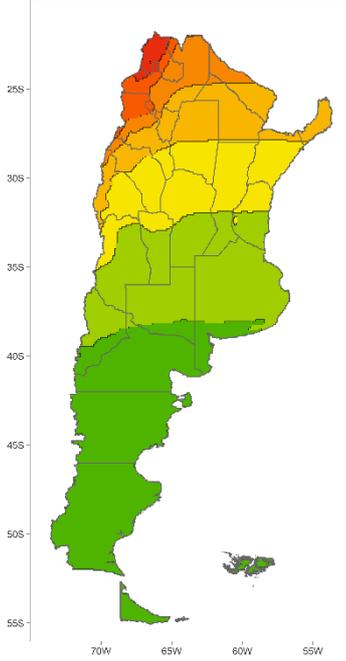
Media Mensual IUV MAYO
Sin nubosidad



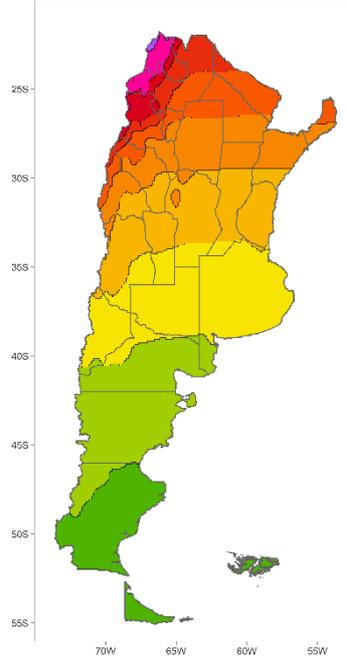
Media Mensual IUV JUNIO
Sin nubosidad



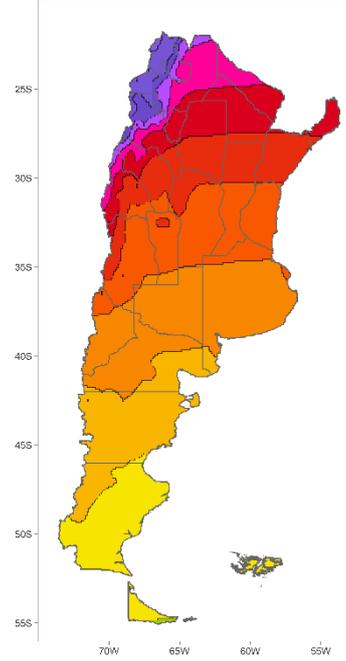
Media Mensual IUV JULIO
Sin nubosidad



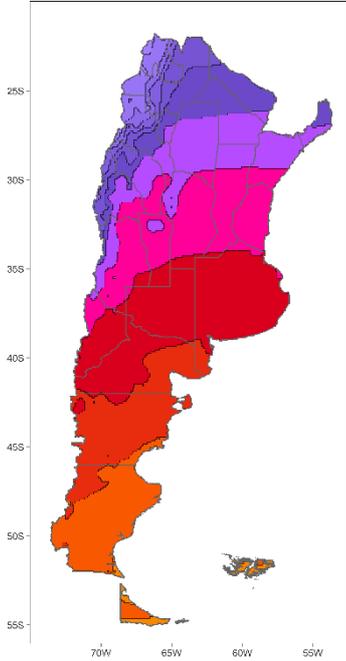
Media Mensual IUV AGOSTO
Sin nubosidad



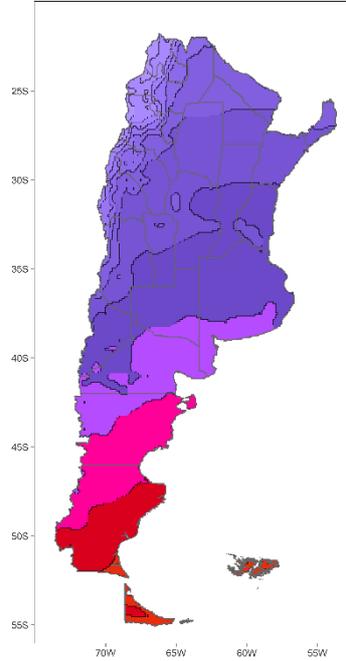
Media Mensual IUV SEPTIEMBRE
Sin nubosidad



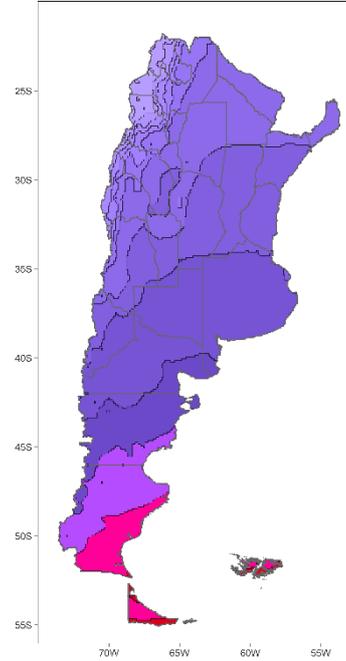
Media Mensual IUV OCTUBRE
Sin nubosidad



Media Mensual IUV NOVIEMBRE
Sin nubosidad



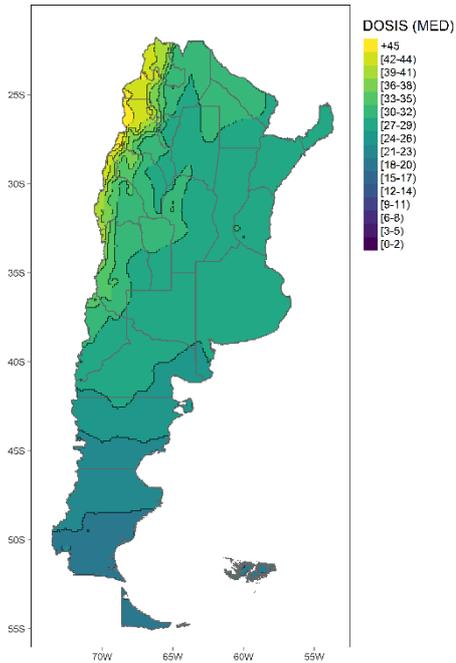
Media Mensual IUV Diciembre
Sin nubosidad



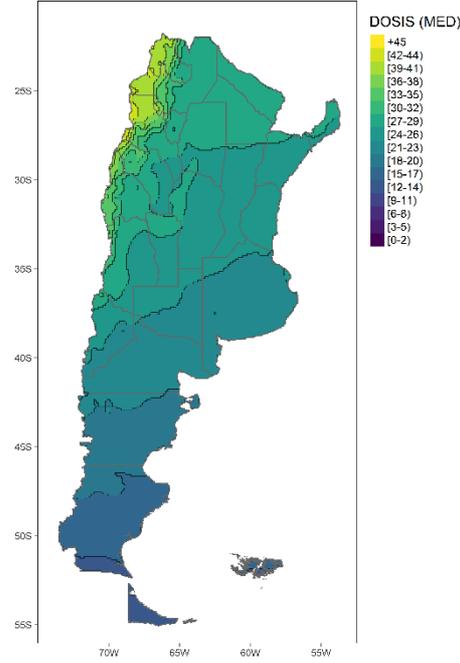
Anexo A2: DOSIS ERITÉMICA CLIMATOLÓGICA

A2.1 Mapas de promedios mensuales de dosis eritémica diaria incluyendo nubosidad

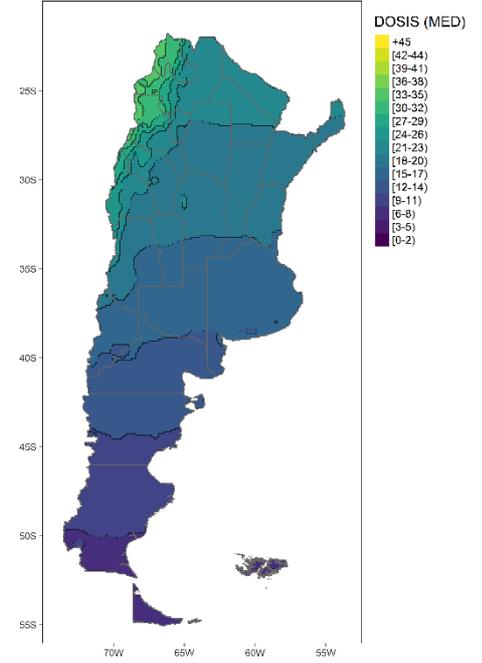
Media Mensual DOSIS ENERO
Con nubosidad



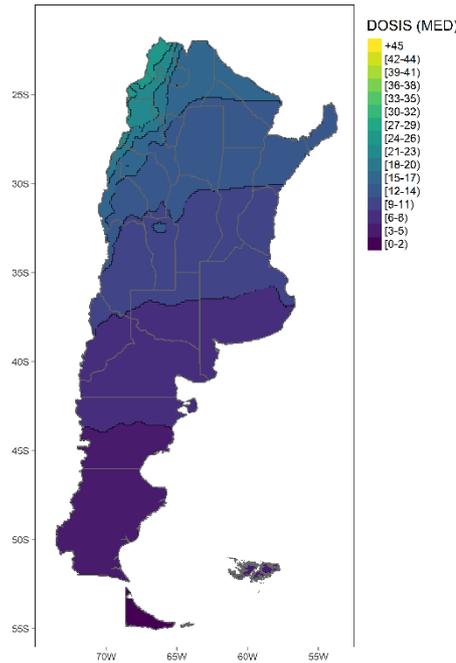
Media Mensual DOSIS FEBRERO
Con nubosidad



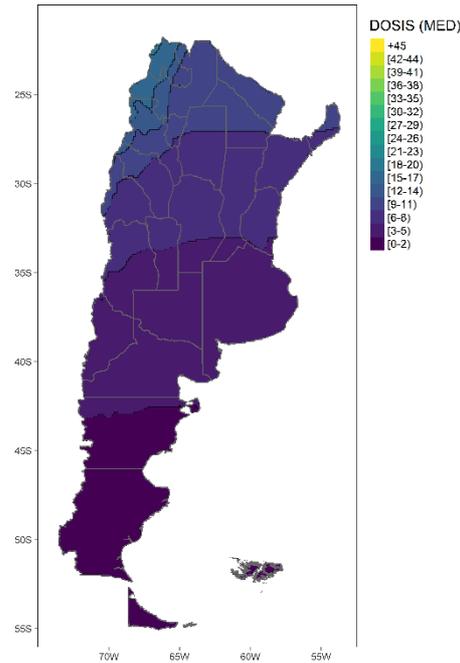
Media Mensual DOSIS MARZO
Con nubosidad



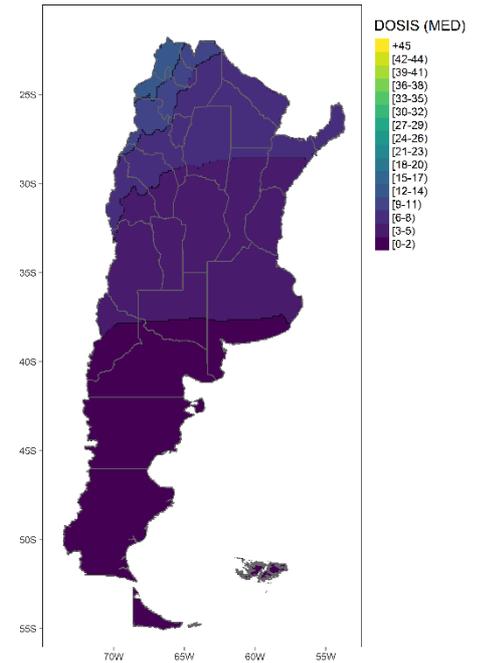
Media Mensual DOSIS ABRIL
Con nubosidad



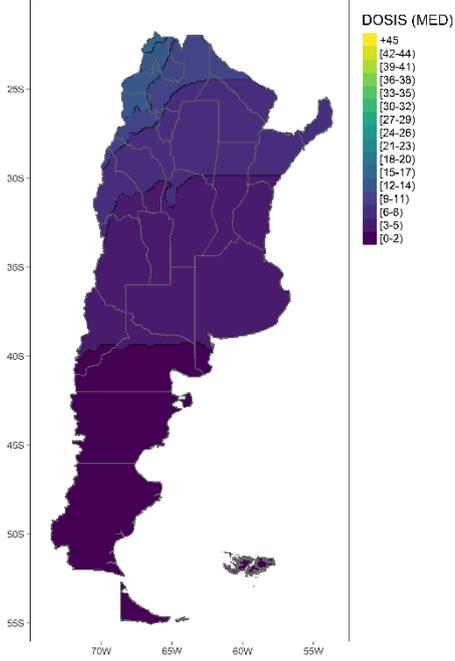
Media Mensual DOSIS MAYO
Con nubosidad



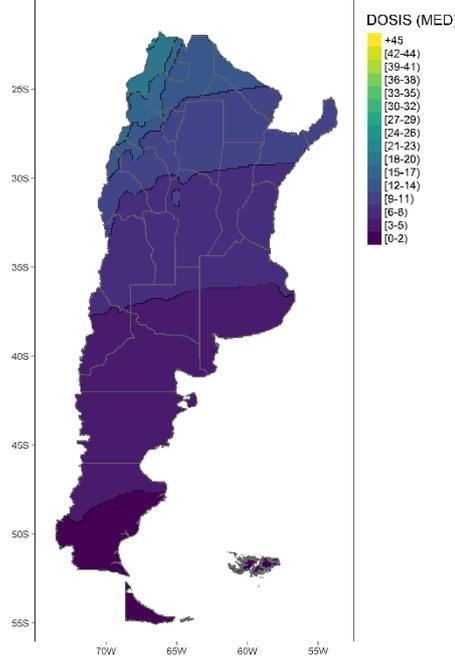
Media Mensual DOSIS JUNIO
Con nubosidad



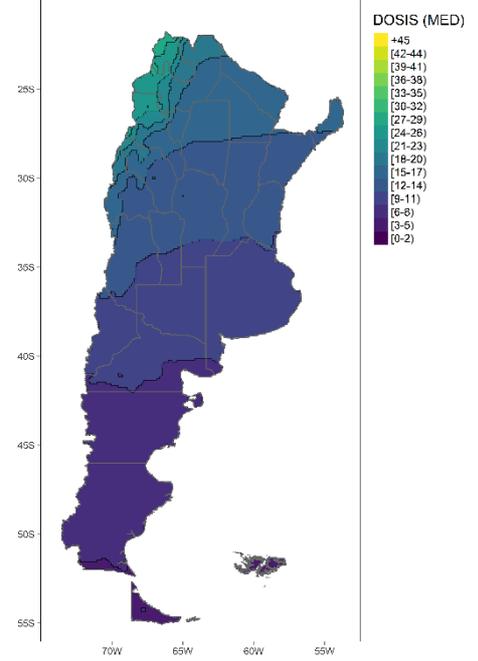
Media Mensual DOSIS JULIO
Con nubosidad



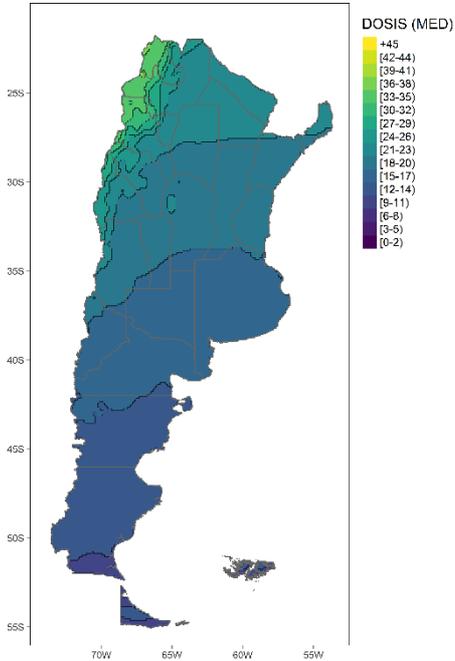
Media Mensual DOSIS AGOSTO
Con nubosidad



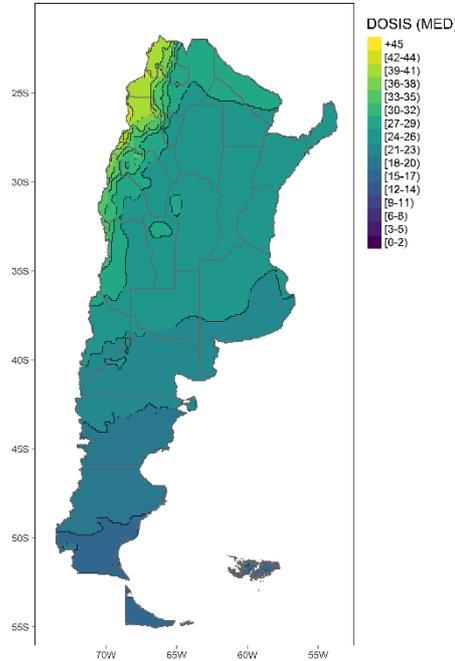
Media Mensual DOSIS SEPTIEMBRE
Con nubosidad



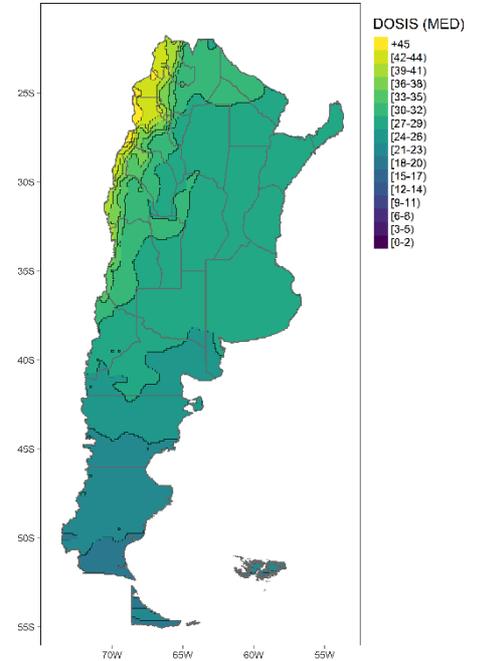
Media Mensual DOSIS OCTUBRE
Con nubosidad



Media Mensual DOSIS NOVIEMBRE
Con nubosidad

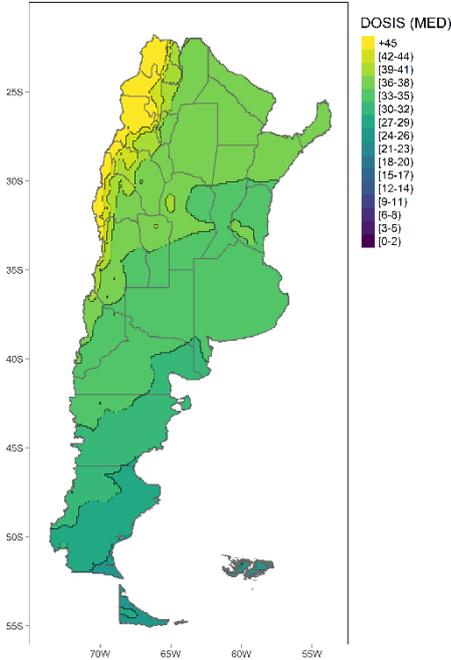


Media Mensual DOSIS DICIEMBRE
Con nubosidad

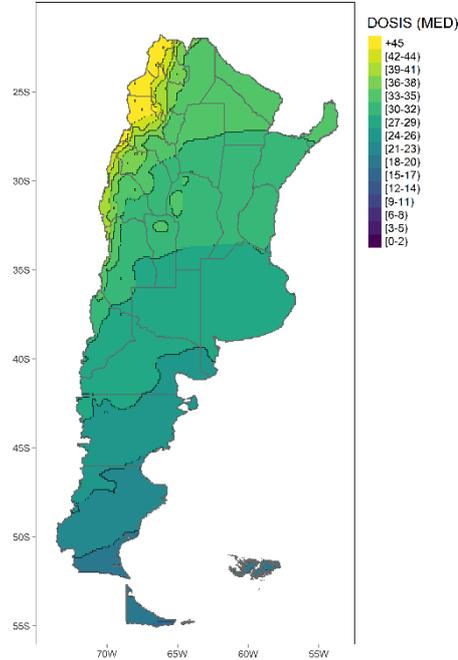


A2.2 Mapas de promedios mensuales de dosis eritémica para cielo despejado

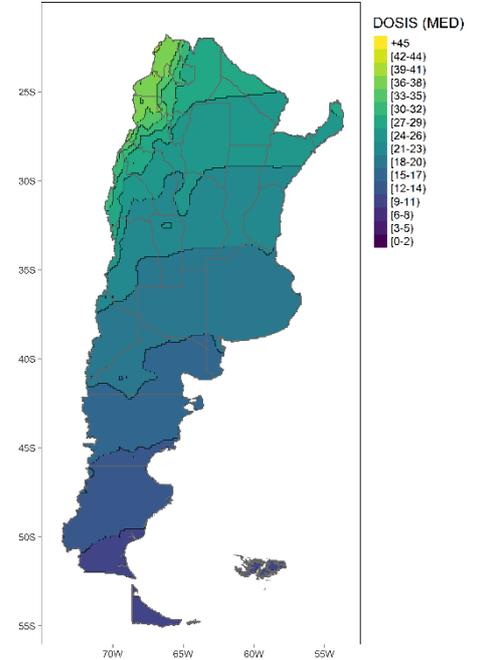
Media Mensual DOSIS ENERO
Sin nubosidad



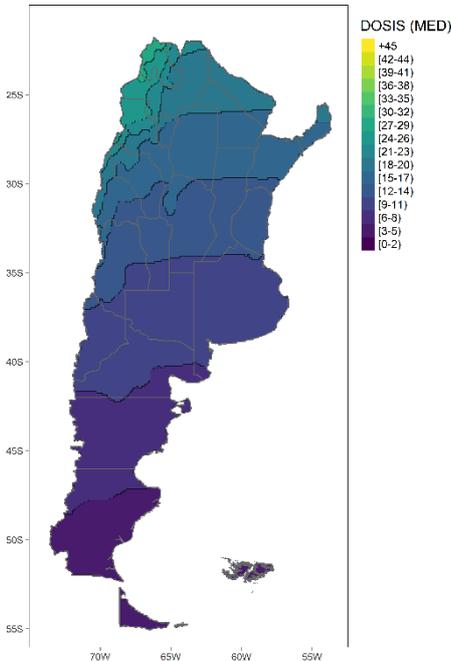
Media Mensual DOSIS FEBRERO
Sin nubosidad



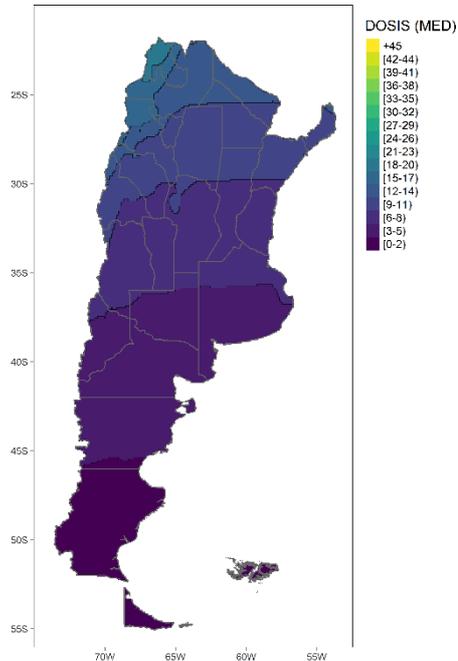
Media Mensual DOSIS MARZO
Sin nubosidad



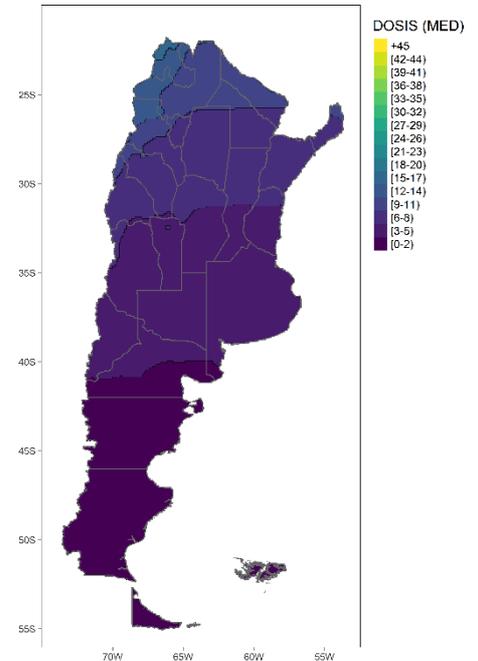
Media Mensual DOSIS ABRIL
Sin nubosidad



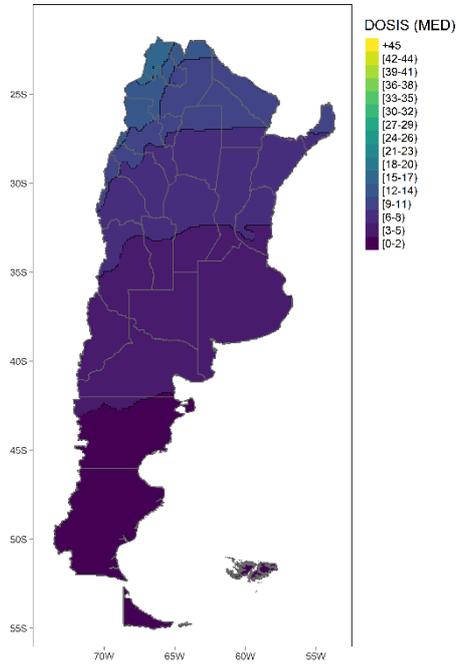
Media Mensual DOSIS MAYO
Sin nubosidad



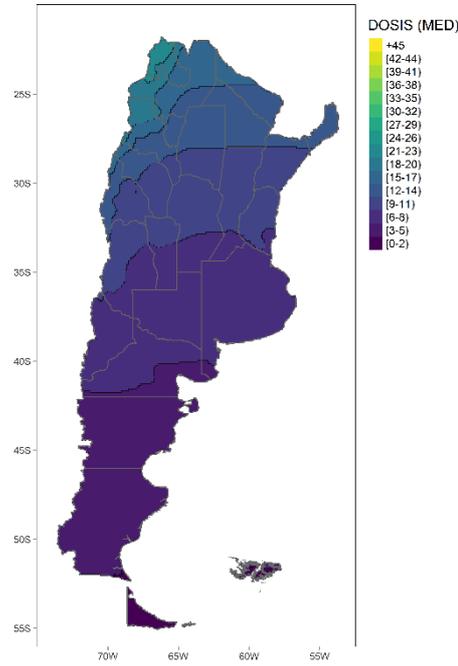
Media Mensual DOSIS JUNIO
Sin nubosidad



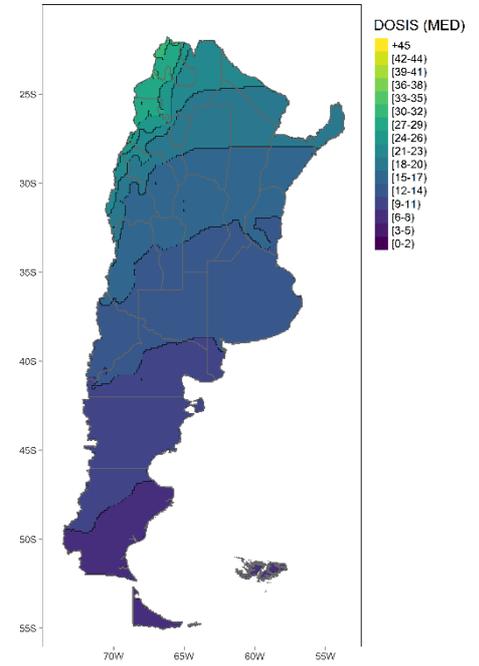
Media Mensual DOSIS JULIO
Sin nubosidad



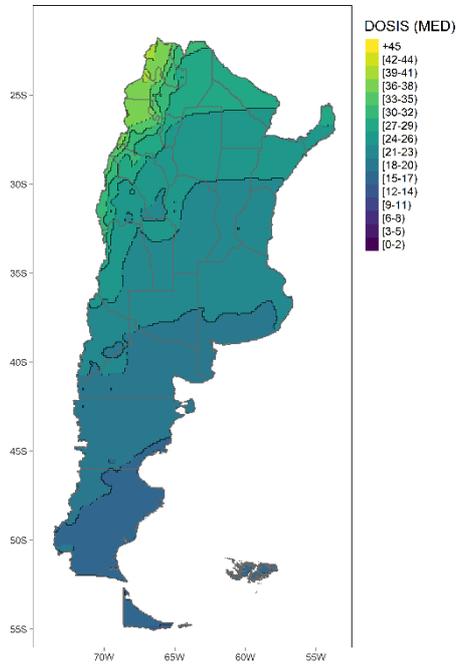
Media Mensual DOSIS AGOSTO
Sin nubosidad



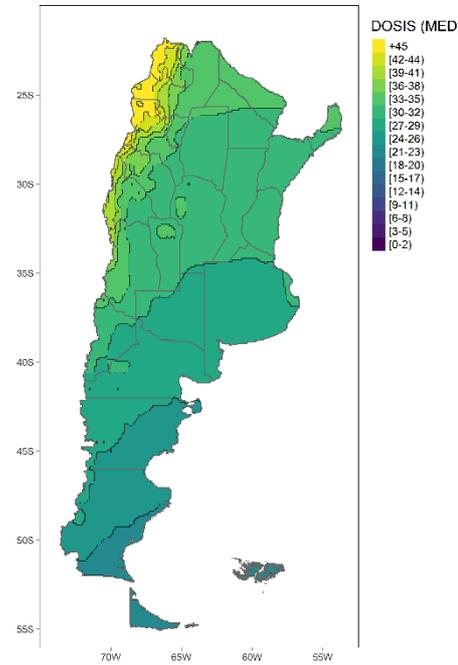
Media Mensual DOSIS SEPTIEMBRE
Sin nubosidad



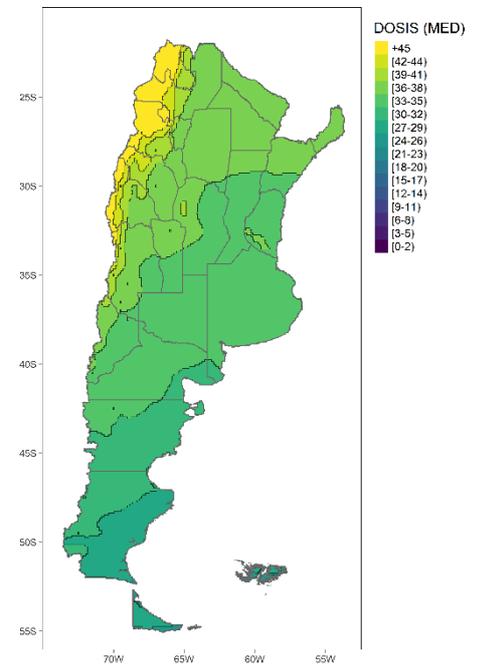
Media Mensual DOSIS OCTUBRE
Sin nubosidad



Media Mensual DOSIS NOVIEMBRE
Sin nubosidad



Media Mensual DOSIS DICIEMBRE
Sin nubosidad



Anexo B: INFORMACIÓN DE PRONÓSTICO DIARIO DE ÍNDICE UV EN ARGENTINA

En cumplimiento con la Ley N° 24.898, el Servicio Meteorológico Nacional Argentino publica el pronóstico de IUV al mediodía solar en su página web (<https://www.smn.gov.ar/radiacionuv>) para todo el país desde el año 1999, presentado mapas para cielo despejado e incluyendo nubosidad, formato que se mantiene desde entonces con sucesivas actualizaciones. En sus comienzos, el modelo utilizado para el pronóstico fue desarrollado íntegramente con parámetros obtenidos para el país y mediante la utilización de un modelo de transferencia radiativa. Actualmente los datos de pronóstico de IUV se obtienen de CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) con 24 hs de antelación. Los valores que se obtienen de CAMS tienen una resolución horaria y consideran cielo despejado, así como cielo con nubosidad promedio pronosticada. Cabe aclarar que se están realizando esfuerzos para reescribir y actualizar los códigos utilizados al principio para poder contar con autonomía en el cálculo del pronóstico de IUV. Se espera poder contar con esta actualización operativa pronto.

La Figura B1 muestra los mapas de pronóstico de IUV publicados el 06-10-2020 para el día siguiente. Es necesario aclarar que el mapa de la izquierda (a cielo despejado y con sol directo) corresponde al valor esperable al mediodía solar mientras que el mapa de la derecha (con nubosidad pronosticada) corresponde al valor máximo de IUV en un rango de ± 2 hs alrededor del mediodía solar.

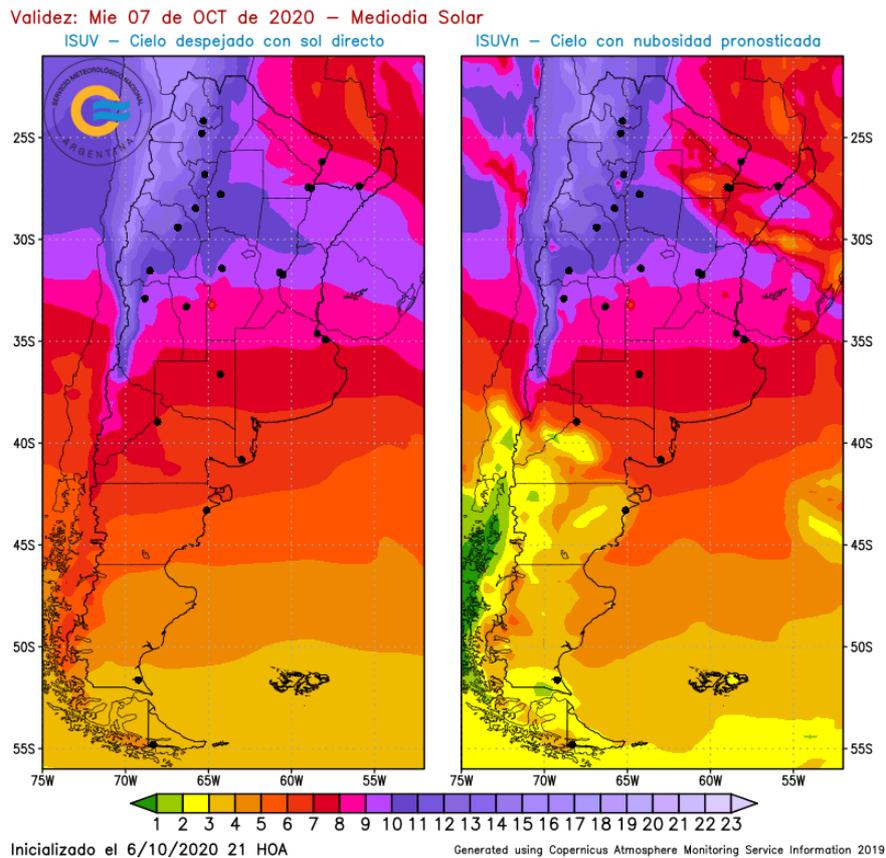


Figura B1. Mapa de pronóstico de IUV para la Argentina con datos obtenidos de CAMS.

Contar con esta información actualizada día a día es muy importante dado que permite evaluar, al corto plazo, el riesgo potencial asociado con la exposición a la radiación solar UV. De esta manera se tendría el conocimiento para mitigar los problemas asociados con este parámetro, principalmente asociado al riesgo laboral y cuestiones relacionadas con la salud. Se aclara que el pronóstico de IUV corresponde al valor sobre la horizontal, por lo que superficies con distinta inclinación podrían recibir una intensidad mayor o menor que la pronosticada.

Anexo C: IRRADIANCIA Y DOSIS ERITÉMICA

En este anexo se describe brevemente una posible aplicación para obtener valores máximos de dosis en plano horizontal a los cuales se puede encontrar expuesta una persona que se encuentre a la intemperie. Para ello se hace uso de un modelo paramétrico simple que supone condiciones de cielo sin nubosidad y una atmosfera sin aerosoles para la estimación con el modelo.

La dosis eritémica se define como la integral de la irradiancia eritémica en el intervalo de tiempo expuesto. Por lo tanto, la dosis efectiva podría ser un parámetro adecuado para estimar el riesgo al cual se encuentra una persona expuesta, dado que tiene en cuenta la intensidad de la radiación y la respuesta biológica, y el tiempo de exposición a la que se expone una persona.

Para describir el potencial eritémico de la radiación UV se utiliza la Dosis Eritémica Mínima (MED). Como se detalló en la sección 3.2, 1 MED se define como la dosis de irradiancia eritémica absorbida por piel humana blanca típica (tipo II o III sin climatizar) que causa enrojecimiento o “eritema” entre 8 y 24 horas después de la exposición al sol. Sin embargo, como no todos los individuos tienen la misma sensibilidad a la radiación UV debido a las diferentes capacidades de autoprotección de sus pieles, el MED varía entre 200 y 500 J/m². La Tabla C1 muestra los valores MED para diferentes tipos de piel de acuerdo con las normas alemanas DIN 5050-1 y DIN 5050-2 (Lovengreen y otros, 2002).

Tabla C1. Definición de los tipos básicos de piel para la población europea. Se incluyen en la tabla los valores MED que corresponden a los distintos tipos de piel. (Lovengreen et. al., 2002)

Tipo de Piel	Se broncea	Se Quema	1 MED (J/m ²)	Color de Pelo	Color de Ojos
I	Nunca	Siempre	200	Rojizo	Azul
II	A veces	A veces	250	Rubio	Azul/Verde
III	Siempre	Raramente	350	Castaño	Gris/Marrón
IV	Siempre	Nunca	450	Negro	Marrón

Ejemplo de cálculo de dosis eritémica máxima

En este ejemplo se calcula la dosis eritémica máxima en una situación de exposición a la radiación solar hipotética. Para el cálculo, se supone una exposición de 2 horas de un trabajador que estará expuesto entre las 10:30 y las 12:30 en Vicente López, Provincia de Buenos Aires, Argentina, para el día 14 de diciembre de 2017.

Como se mencionó anteriormente, la dosis efectiva se obtiene integrando en el tiempo el valor de irradiancia solar eritémica. Para la obtención de la irradiancia eritémica, en este ejemplo se obtiene primero el valor del índice ultravioleta (IUV) a través de un modelo paramétrico desarrollado por Madronich (2007) (Ec. C1) y se divide por un factor 40 ($IUV = I_{Eri} \times 40$). Los coeficientes del modelo fueron estimados previamente mediante un ajuste no lineal a través de la comparación con el IUV medido en situación de cielo despejado. El modelo paramétrico utilizado es una buena opción dada su simplicidad, aunque cualquier modelo de irradiancia

solar, ya sea paramétrico o de transferencia radiativa, puede ser empleado. La fórmula del modelo paramétrico utilizado es la siguiente:

$$UVI \sim 11,39 \mu_0^{2.68} \left(\frac{CTO}{300} \right)^{-1.16} \quad (\text{Ec. C1})$$

Donde μ_0 es el coseno del ángulo solar cenital y CTO es la Columna total de ozono.

Con el objetivo de estimar la peor condición que se presentará en cuanto a la dosis de radiación recibida (dosis eritémica máxima), se considera una situación de cielo despejado y una atmósfera sin aerosoles para el modelado. En presencia de aerosoles y/o presencia de nubes (salvo en situaciones de incremento de radiación por borde de nube), la irradiancia en superficie será menor que la situación de cielo despejado calculada y por lo tanto lo será la dosis.

De la ecuación C1, se observa que para el cálculo del IUV se necesita el ángulo solar cenital y la CTO. El modelo se corrió para cada minuto del día (1440 corridas) con el objetivo de obtener la irradiancia eritémica diaria. En cada corrida (cada minuto) se calcula el ángulo solar cenital previamente teniendo en cuenta el día, la hora y la ubicación del sitio.

El valor de columna total de ozono puede obtenerse de mediciones, aunque si se desea estimar un valor de irradiancia a futuro a través de un modelo paramétrico, se necesita conocer el valor de CTO que se presentará en el momento que se quiere modelar. Dado que la columna total de ozono generalmente no presenta grandes variaciones significativas dentro de un día (salvo en eventos particulares como la intrusión del agujero de ozono o fenómenos de dilución del mismo), tomar un valor medido dentro del mismo día puede ser una buena opción para utilizar como valor de entrada para estimar la dosis que se presentará en el día. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones no se cuenta con esta información en el sitio donde se quiere estimar la dosis eritémica. Otras opciones para obtener un valor confiable de CTO como entrada al modelo puede ser la utilización de un valor pronosticado de ozono (por ejemplo, del sitio <http://www.temis.nl/protocols/O3forecast.html>) o la utilización de información climatológica. El criterio utilizado para la elección del dato de CTO dependerá de la aplicación y los requerimientos de cada problema particular. Por ejemplo, para estimar la dosis máxima potencial que podría presentarse en condiciones laborales al aire libre con el fin de proteger un trabajo fotoexpuesto, tomar el valor climatológico de CTO menos una desviación estándar podría ser un buen criterio, dado que estamos considerando una situación desfavorable respecto del valor medio y en la mayoría de las situaciones estaremos estimado un valor de dosis por encima del valor real en la mayoría de los casos. En nuestro ejemplo se tomó el valor climatológico menos una desviación estándar para el día 14 de diciembre de 2017 (268.5UD) para la estimación, calculado desde la base de datos de CTO del instrumento satelital OMI para la ciudad de Buenos Aires (overpass data, <https://avdc.gsfc.nasa.gov/index.php?site=1882082496&id=46>) como entrada el modelo.

En la Figura C1 se muestra la irradiancia eritémica modelada para el 14 de diciembre de 2017 realizada en el CITEDEF (-34,58°, -58,48°) tomando el valor de CTO climatológico menos una desviación estándar (línea roja) y tomando el valor medido de CTO para ese día (línea verde) para la ciudad de Buenos Aires (286 DU, medido con el instrumento Dobson del SMN). En la figura también se incluye el valor observado de irradiancia eritémica medido en CITEDEF (línea azul). Se observa que el modelo se aproxima a los valores medidos cuando se toma el valor de CTO medido para ese día, dando cuenta que el modelo aproxima muy bien la medición. Como es de esperar, la irradiancia eritémica modelada tomando los valores climatológicos de CTO ($\mu - 1\sigma = 268,5$ UD) está un poco por encima de la irradiancia medida debido a que el valor de CTO está por debajo del observado para el 14 de diciembre de 2017.

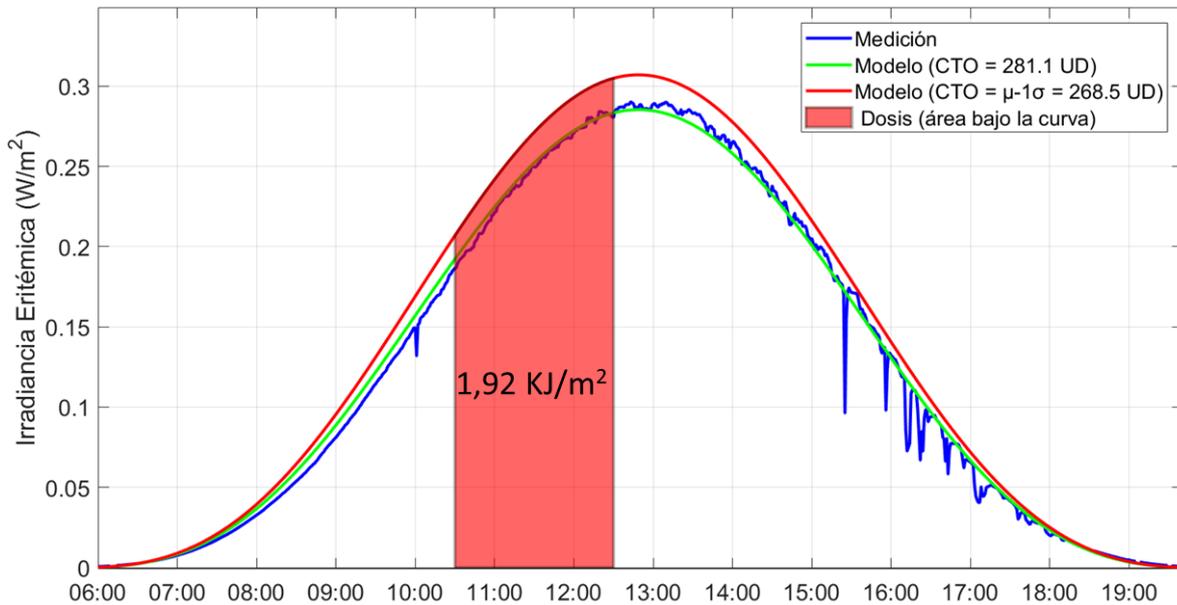


Figura C1. Estimación de la irradiancia solar eritémica y medición.

Al calcular la dosis eritémica mediante estas estimaciones de irradiancia eritémica tomando valores climatológicos de CTO (línea roja) y el valor medido (línea verde), la dosis eritémica estimada es de 1.92KJ/m2 y 1,78KJ/m2, respectivamente. Por lo tanto, la dosis estimada tomando un valor de ozono climatológico, es aproximadamente un 8% mayor que el valor observado. Si suponemos una persona de tipo de piel 2 según la Tabla 1, el valor estimado equivale a ~7.7 MED.

Conociendo otras características atmosféricas del momento que se desea estimar la dosis, permitirá incorporar nuevos factores con el objetivo de lograr una estimación más realista de la situación que se desea modelar. Por ejemplo, si se conoce de información pronosticada que el sitio se presentará una condición de nubosidad, un factor de atenuación podría aplicarse para obtener una dosis de exposición más realista y tomar mejores decisiones de protección que se ajusten a la situación real. Sin embargo, ante la falta de

información o para estimar una situación potencial máxima de dosis, tomar la situación más riesgosa puede resultar de utilidad minimizando el riesgo de exposición de un trabajador.

La observación de la atmósfera en el momento en el que el trabajador se va a exponer a la radiación solar UV también puede ser de utilidad para determinar las condiciones reales y, por ejemplo, evaluar la posibilidad de aplicar un factor de atenuación y extender el tiempo al que podría estar expuesto sin contraer eritema.

Este apartado intenta acercar una posible solución para la cuantificación del riesgo potencial a la que estaría expuesto un trabajador. La definición de un procedimiento para la determinación del riesgo potencial y la posibilidad de incluir un factor de atenuación para la estimación del riesgo real, siempre y cuando se cuente con información confiable, es de gran utilidad para la evaluación de riesgo asociado a los trabajadores fotoexpuestos y poder definir los tiempos de exposición, resguardos o utilización de EPP (protector solar, sombreros de ala ancha, protector ocular como gafas, ropa con filtro UV, entre otros) para asegurar un trabajo seguro sin perjuicio para la salud.

Referencias Anexo C

Madronich S., 2007: Analytic Formula for the Clear-sky UV Index. *Photochemistry and Photobiology*, pp. 83: 1537–1538.

Lovengreen vd M, J. L. Alvarez B., H. Fuenzalida P. y M. Aritio G., 2002: Radiación ultravioleta productora de eritema en Valdivia. Comparación entre inferencias satelitales, modelo de transferencia radiativa y mediciones desde Tierra. *Revista médica de Chile*, 2002, versión impresa ISSN 0034-9887.

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 Martin 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).