

COMPARACION ENTRE MEDICIONES EN ROSARIO (ARGENTINA) Y PREDICCIONES DE LAS DOSIS ERITEMICAS SOLARES EN VERANO-OTOÑO

R. D. Piacentini^{1,2}, R. M. Abalone¹, L. Nuñez³ y G. Talamoni³

1. Grupo de Energía Solar, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNRosario) y Facultad de Cs. Ex., Ing. y Agrimensura (UNRosario). Avda Pellegrini 250. 2000 Rosario.
2. Observatorio Astronómico Municipal. C.C. 606, Parque Urquiza, (2000) Rosario
3. Servicio Meteorológico Nacional. 25 de Mayo 658, Buenos Aires

RESUMEN

Se presentan las mediciones de dosis eritémicas realizadas al mediodía solar, en el período verano-otoño de 1995 en la ciudad de Rosario (32° 55' S, 60° 44' W), en particular en el Parque Urquiza frente al Observatorio Astronómico, y se comparan con los pronósticos confeccionados por el Servicio Meteorológico Nacional, con la finalidad de probar el método utilizado para su realización.

Los diagramas de frecuencias muestran un razonable acuerdo entre mediciones y pronósticos, con una pequeña tendencia de estas últimas a subestimar los valores reales. Estos diagramas se presentan tanto para las predicciones realizadas el día anterior (18hs) como para las del mismo día (9hs), siendo las primeras solo levemente más alejadas de las mediciones, respecto de las últimas.

Se analiza el índice ultravioleta solar (ISUV) en relación con otros propuestos en Estados Unidos y Canadá y la importancia de contar con esta información.

1. INTRODUCCION

La dosis efectiva de acción eritémica inducida por radiación solar ultravioleta [1,2] se define como el producto de la irradiancia espectral solar en el rango UV (290nm - 400nm), por la curva de acción eritémica espectral [3 - 7].

La acción eritémica espectral indica, para cada longitud de onda del espectro electromagnético, la proporción de radiación solar que la piel absorbe. Diversos autores emplean diferentes curvas obtenidas por experimentación [3] o promediando resultados como en la muy difundida curva de McKinlay y Diffey [7]. En la fig. 1, se muestran los espectros dados en ref. [5,7] y el correspondiente al filtro adosado al solarímetro-fotómetro UV IL1400A, empleado en el presente trabajo. Esta normalización (a 274 nm), realizada por el fabricante del equipo, es arbitraria y tal como señala Madronich [2] es necesario especificar este punto de normalización para poder comparar diferentes mediciones y cálculos teóricos.

En la fig. 1 también se muestra el espectro solar característico del período de máxima intensidad: mediodía de fin de primavera y comienzo de verano, de un día de cielo claro para Rosario y la Pampa Húmeda y Litoral Argentinos. El producto de ambas magnitudes, la **dosis efectiva de acción eritémica** expresada en $\mu\text{W}/\text{cm}^2_{\text{efectivos}}$, indica la energía por unidad de tiempo y área sobre el plano horizontal, asociada con el efecto de eritema, es decir enrojecimiento de la piel, primer síntoma de alarma.

En la Tabla 1 se muestran los índices numéricos que son utilizados en la actualidad en USA y Canadá [8,9,10]. Diversos inconvenientes aparecen al trasladar cualquiera de ellos en forma directa a las regiones de la Pampa Húmeda y Litoral Argentino. Por lo tanto se desarrolló un Indicador propio (detallado en [8]) en correlación a los valores medidos de dosis efectivas de acción eritémica, según la experiencia

recogida en Rosario, Argentina, al mediodía solar con cielo claro, desde setiembre de 1993 a junio de 1995 (ver Tablas 1 y 2).

Tabla 1: Índices ultravioletas solares utilizados en Argentina, USA y Canadá.

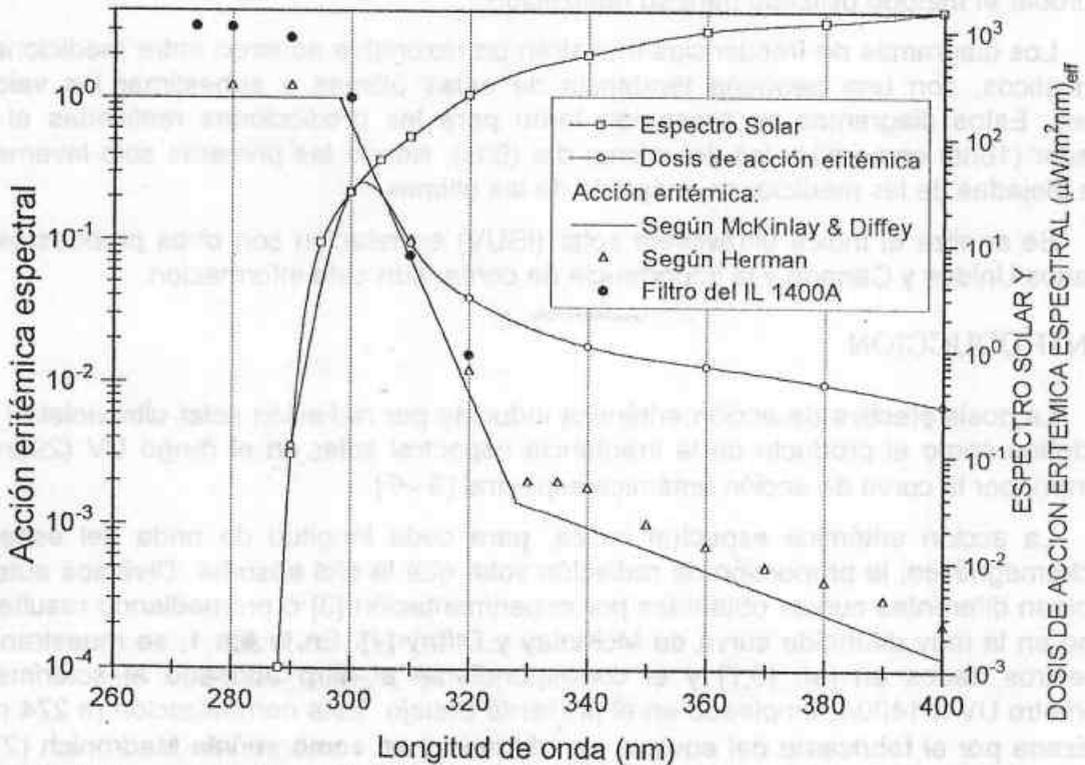


Fig. 1: Espectros de acción eritemática y de radiaciones solares características de un día de cielo claro cercano al solsticio de verano, al mediodía solar. El producto de ambas determina la dosis de acción eritemática espectral.

2. MEDICIONES

Desde el día 13 de enero de 1995 y en forma continuada hasta junio de 1995, se realizaron diversas mediciones, según se detalla a continuación:

- i. Medición de sombra proyectada por una guía vertical calibrada, para la determinación de la posición del Sol y su comparación con datos obtenidos de programas de computación.
- ii. Medición de radiación solar global en el plano horizontal.

- iii. Medición de radiación solar ultravioleta en el plano horizontal.
- iv. Determinación en forma indirecta del espesor de la capa de ozono, mediante la medición de radiación solar ultravioleta en dos rangos: $(305\pm 4)\text{nm}$ y $(315\pm 4)\text{nm}$, empleando el equipo desarrollado por J. Tocho et al del CIOP.
- v. Determinación del porcentaje de cielo cubierto y tipo de nubes. Fotografía de tipos de nubes.
- vi. Medición de dosis eritémica en dirección al Sol y en el plano horizontal. Valores instantáneos e integrados en 1 minuto.

Estas últimas mediciones son las que se emplean para definir la calificación relativa a las radiaciones solares ultravioletas (Tabla 4). Las restantes, realizadas para otros estudios, sirven de corroboración de los datos obtenidos.

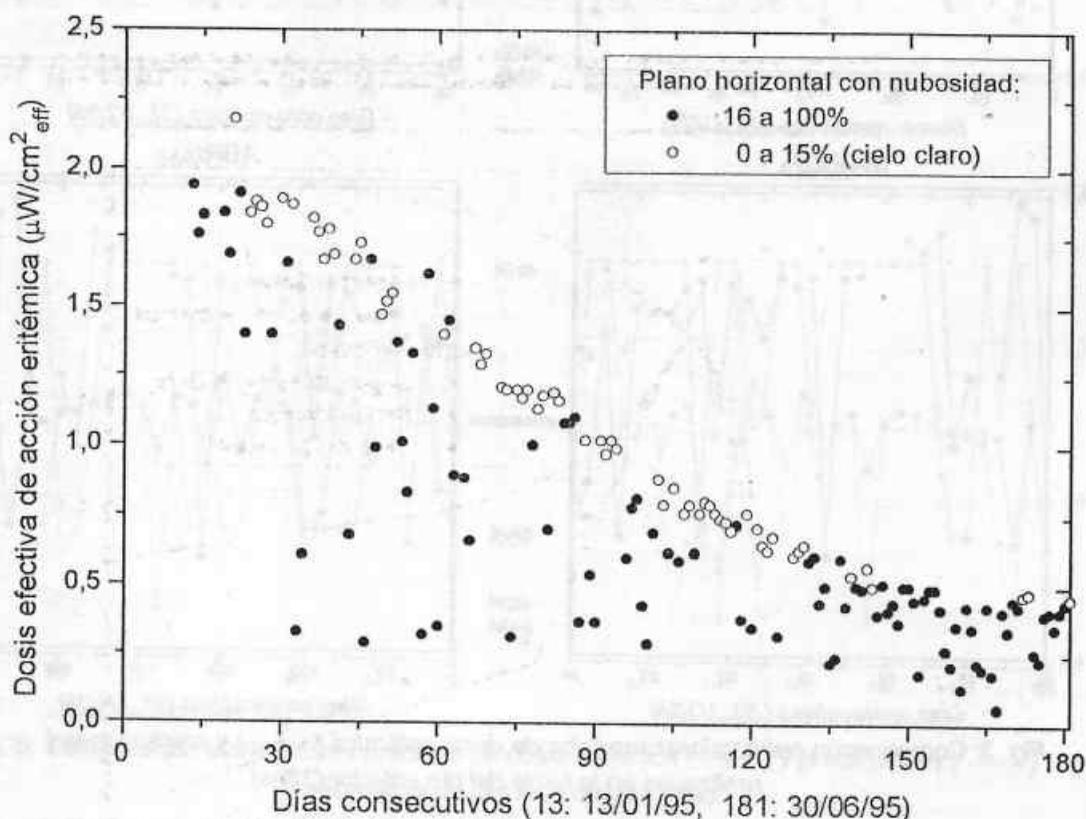


Fig. 2: Mediciones de dosis efectiva de acción eritémica.

Se tomaron tres mediciones: al mediodía solar, media hora antes y media hora después, y se promediaron los valores obtenidos. No se realizaron mediciones los días de lluvia y algunos otros días por diferentes razones (protección de instrumentos, etc.).

En la fig. 2 se grafican los valores de dosis efectivas de acción eritémica medidos en el plano horizontal, correspondientes al primer semestre del año 1995. En dicha figura se distinguen los valores para días de cielo claro (nubosidad menor o igual a 15%) del resto. Estos valores también se muestran en las fig. 3 y 4, discriminados por mes y comparados con los pronósticos realizados.

Los valores promedios máximos relativos al mediodía solar para cielo claro, medidos en Diciembre-Enero, cerca del solsticio de verano, son de unos $2\mu\text{W}/\text{cm}^2_{\text{eff}}$, decreciendo durante enero y febrero hasta 1.5 al final de este periodo, siendo alrededor de 1 a finales de marzo y de 0.4 al concluir el otoño. Se debe recordar que estos valores tienen significación cuando se los considera en forma relativa, tal como se detalla en el ítem 1.

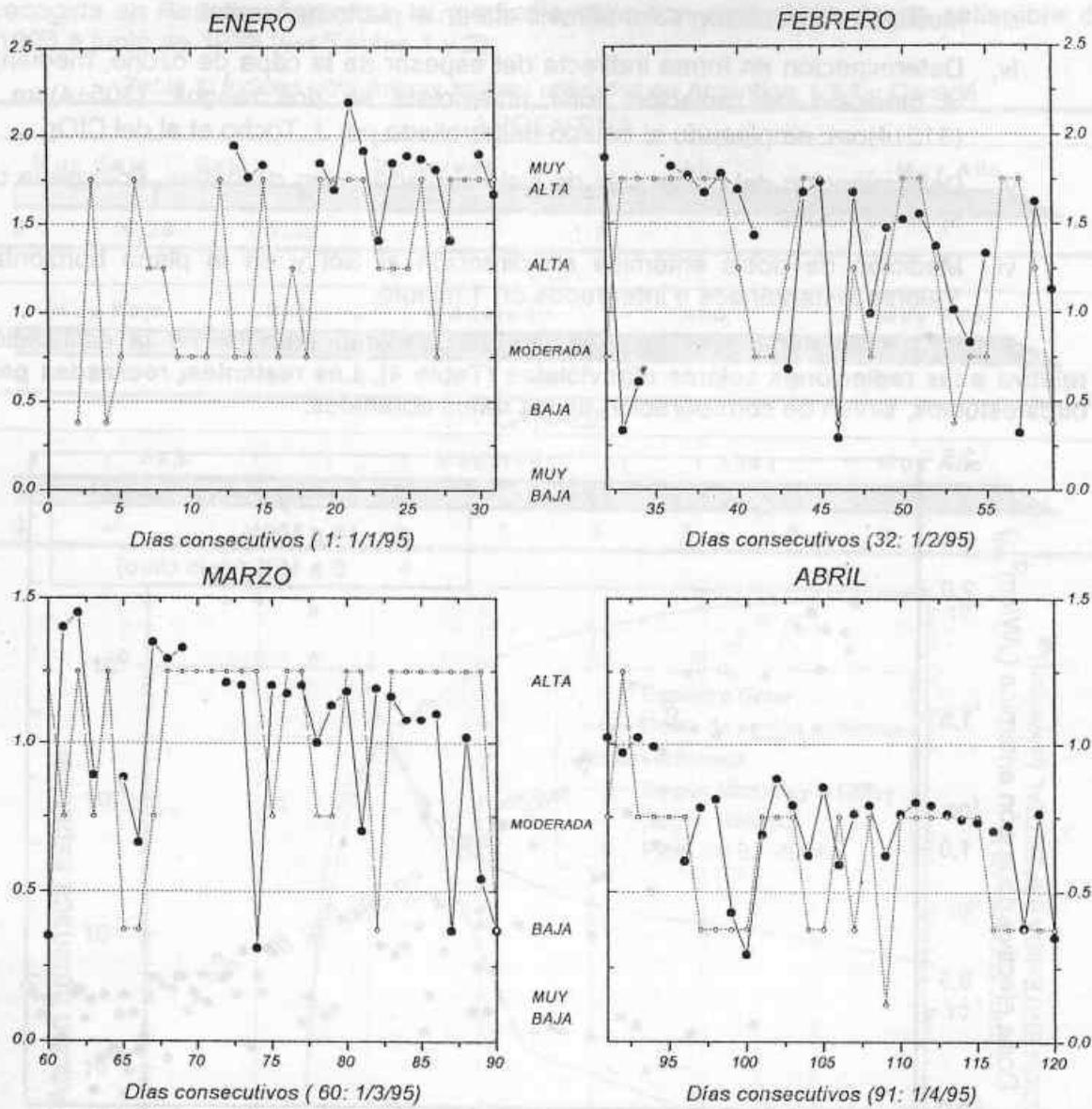


Fig. 3: Comparación entre valores medidos de dosis eritemática (—●—) y predicciones (---○---) realizadas en la tarde del día anterior (18hs).

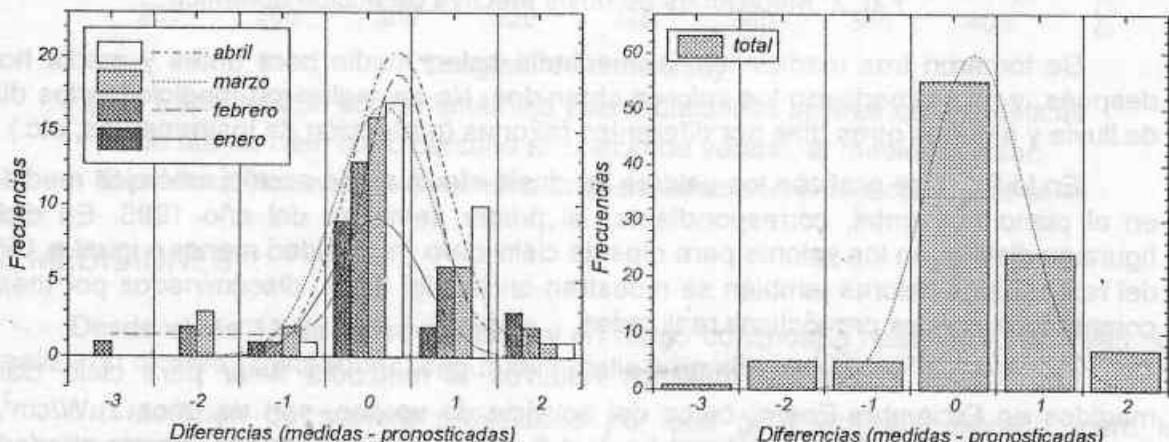


Fig. 4: Diagramas de frecuencias para las diferencias entre valores medidos y los pronosticados en la tarde del día anterior (18hs), discriminados por mes y frecuencias totales. Se representa además un ajuste de tipo gaussiano de dichos diagramas.

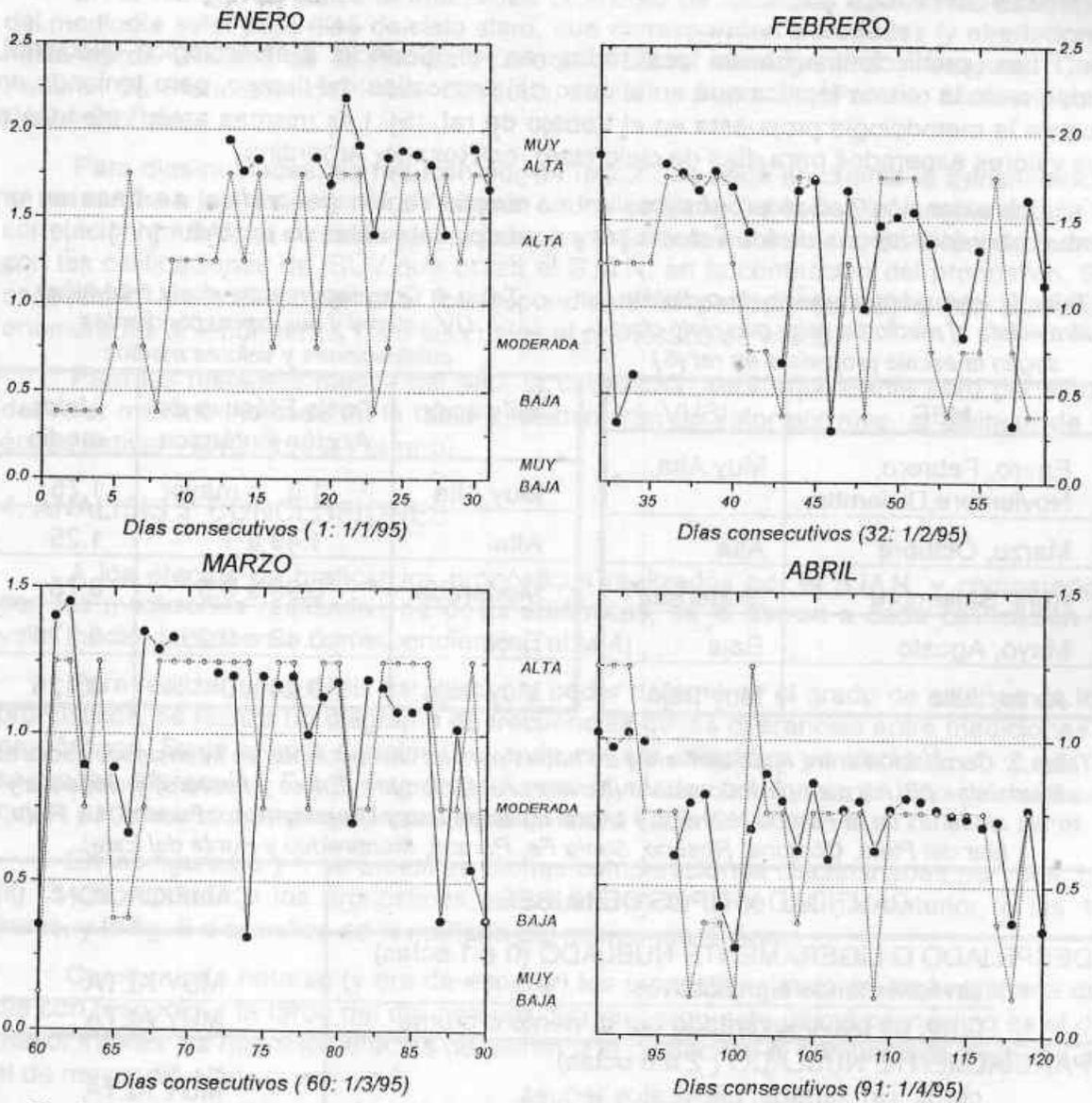


Fig. 5: Comparación entre valores medidos de dosis eritema (\bullet) y predicciones (\circ) realizadas en la mañana del día (9hs).

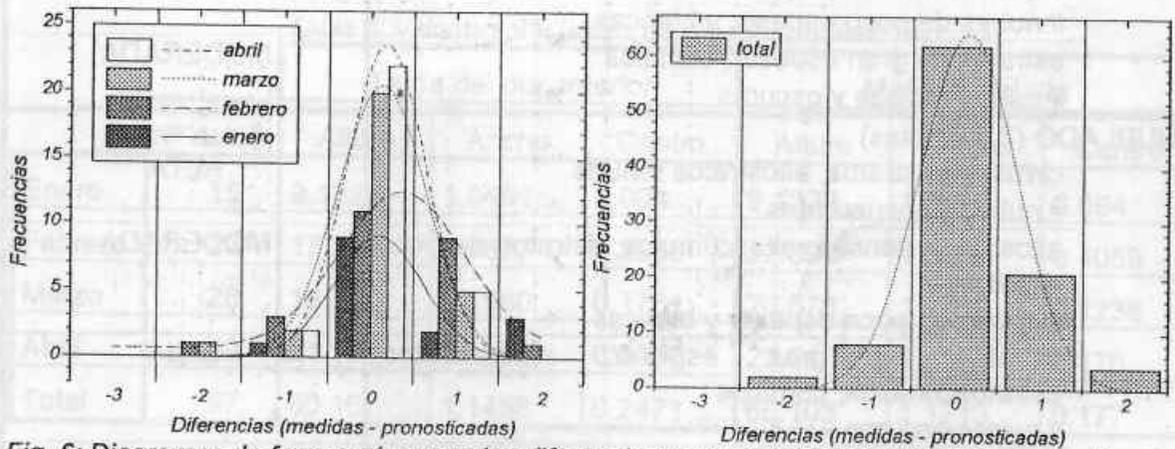


Fig. 6: Diagramas de frecuencias para las diferencias entre valores medidos y los pronosticados en la mañana del mismo día (9hs), discriminados por mes y frecuencias totales. Se presenta el ajuste gaussiano.

3. PRONOSTICOS

Las predicciones fueron realizadas en el Servicio Meteorológico Nacional, empleando la misma técnica que en el caso del pronóstico del tiempo, pero teniendo en cuenta la metodología propuesta en el trabajo de ref. [5]. Las mismas están referidas a los valores esperados para días de cielo claro, en Rosario, Argentina.

La extensión de los pronósticos a una amplia región geográfica, se basa en un trabajo anterior de uno de los autores [4] y en datos satelitales de la NASA [11]

Tabla 2: Intensidad promedio de radiación ultravioleta al mediodía solar con cielo claro según la escala propuesta en ref [5].

MES	ISUV
Enero, Febrero, Noviembre, Diciembre.	Muy Alta
Marzo, Octubre	Alta
Abril, Setiembre	Moderada
Mayo, Agosto	Baja
Junio, Julio	Muy Baja

Tabla 4: Correlación entre dosis eritémicas UV solares y sus correspondientes calificaciones y valores medios

Calificación	Dosis Efectiva de Acción Eritémica	Valor medio
Muy Alta	1.5 ó mayor	1.75
Alta	1.49 a 1	1.25
Moderada	0.99 a 0.5	0.75
Baja	0.49 a 0.25	0.375
Muy Baja	0.24 a 0	0.125

Tabla 3: Correlación entre tipos de cielo y de nubes con las calificaciones de intensidades solares ultravioletas (ISUV) para período estival (Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero) y ciudades y zonas aledañas de la Pampa Húmeda y Litoral de Argentina y Uruguay (Cap. Federal, La Plata, Mar del Plata, Córdoba, Rosario, Santa Fe, Paraná, Montevideo y Punta del Este).

CANTIDAD Y TIPOS DE NUBES.	CALIFICACION
DESPEJADO O LIGERAMENTE NUBLADO (0 a 1 octas) sin fenómenos significativos prob. de polvo levantado por el viento o bruma	MUY ALTA MUY ALTA
PARCIALMENTE NUBLADO (2 a 6 octas) cirros, cirrostratos, altostratos tenues. # nubes transparentes.	MUY ALTA
altostratos densos, altoscúmulos, estratos de poco espesor, cúmulos humilis. # nubes de poco espesor y blancas	ALTA
estratos de gran espesor, cúmulos. # nubes densas y oscuras	MODERADA
NUBLADO (7 a 8 octas) cirros, cirrostratos, altostratos tenues # nubes transparentes	ALTA
altostratos densos, altoscúmulos, estratos de poco espesor # nubes de poco espesor y blancas	MODERADA
estratos de gran espesor, nimbostratos, estratoscúmulos, cúmulos # nubes oscuras	BAJA
# conjunto de nubes tal que transforman al día en noche	MUY BAJA

Nota: 1 octa = 1/8 de la semiesfera celeste cubierta de nubes.

En la tabla 2 se indica la intensidad promedio de radiación ultravioleta alrededor del mediodía solar para días de cielo claro, que corresponden a ciudades (y alrededores hasta aprox. 100km) de la Pampa Húmeda y Litoral de Argentina y Uruguay: Cap. Federal, La Plata, Mar del Plata, Córdoba, Rosario, Santa Fe, Paraná, Montevideo y Punta del Este.

Para días nublados, se reducen por un factor que tiene en cuenta la transmitancia de las nubes a las radiaciones UV, según se indica en la Tabla 3. Dicha tabla detalla la correlación entre tipos de cielo (despejado, parcialmente nublado o nublado) y de nubes con las calificaciones de ISUV que utiliza el S.M.N. en la confección del pronóstico. Se especifican los meses del año (correspondiente al período estival) y las ciudades enumeradas anteriormente, para las cuales el pronóstico es válido.

Para los restantes meses del año, la calificación será equivalente pero partiendo del valor máximo indicado en la tabla 2, disminuirán un valor por mes, al alejarse de la época estival (Noviembre a Febrero)

4. ANALISIS Y CONCLUSIONES

A los efectos de graficar los pronósticos realizados por el S.M.N. y compararlos con las mediciones realizadas de dosis eritémicas, se le asocia a cada calificación el valor medio del intervalo correspondiente (Tabla 4).

Para realizar un análisis estadístico y poder determinar el grado de aciertos de los pronósticos, se realiza un diagrama de frecuencias de las diferencias entre mediciones y pronósticos. Se le asigna el valor 0 cuando ambos coinciden y valores 1, -1, 2, -2, ... según las diferencias. Estos diagramas fueron ajustados por funciones tipo gaussianas, cuyos parámetros característicos se detallan en la Tabla 5.

En las figuras 3 y 5 se muestran dichas comparaciones discriminadas por mes. La fig. 3 corresponde a los pronósticos realizados en la tarde del día anterior, a las 18 horas, y la fig. 5 a aquellos de la mañana del mismo día, 9 horas.

Como puede notarse (y era de esperar) los pronósticos mejoran en la mañana del día con respecto a la tarde del día anterior. Sin embargo este último pronóstico es el de mayor interés, ya que a los efectos de alertar a la población, el comunicado nocturno es el de mayor difusión.

En la tabla 5 se comprueba que existe un 62% de acuerdos en el pronóstico del día anterior y del 67% en el del mismo día. El primer valor es similar al que corresponde a la comparación medición-pronóstico en Estados Unidos [13].

Tabla 5: Valores estadísticos del ajuste gaussiano realizado

	Nº datos	Tarde del día anterior			Mañana del día		
		Altura	Ancho	Centro	Altura	Ancho	Centro
Enero	15	9.1328	1.0491	0.094	9.1328	1.0491	0.094
Febrero	25	17.352	0.7827	0.3556	12.896	1.5682	0.4059
Marzo	28	16.732	1.1560	0.1761	20.573	1.0418	0.1238
Abril	29	21.181	1.1062	0.3668	23.615	0.9352	0.176
Total	97	60.167	1.1458	0.2471	65.103	1.1213	0.177

La fig. 4 presenta una cierta asimetría hacia valores positivos lo que implica una tendencia a subestimar la dosis relativa (alta frecuencia del valor 1 respecto del -1) que no se corrige en la fig. 6. Esto evidencia un pequeño error sistemático en la realización

del pronóstico o en las mediciones.

Desde Enero a Abril y a partir de Octubre de 1995 el S. M. N., en colaboración con el Observatorio Astronómico de Rosario y el Instituto de Física Rosario (CONICET-UNRosario), informa a todo el país sobre el índice ultravioleta solar (ISUV), con carácter experimental. Luego de completar la prueba durante un año y corrigiendo las pequeñas diferencias observadas (ver fig. 4 y 6), se estará en condiciones de dar pronósticos definitivos.

Si bien los datos se refieren a dosis eritémicas (como las de USA y Canadá), estos datos pueden correlacionarse con los de dosis carcinogénica [12] y con los de radiaciones UV en general [5]. Por consiguiente la información suministrada es de gran valor, no solo para quienes deban exponerse al Sol intenso por trabajo, deporte o esparcimiento, sino para analizar acciones de estas radiaciones energéticas sobre el resto de los organismos vivientes (animales y plantas).

5. REFERENCIAS

- [1] S. Madronich, 1993. *UV Radiation in the natural and perturbed atmosphere. UV-B Radiation and Ozone Depletion. Effects on Humans , Animals, Plants, Microorganisms and Materials.* Editado por Manfred Tevini. Lewis Publishers, pp. 17-64.
- [2] S. Madronich, 1993. *The atmosphere and UV-B radiation at ground level.* Environmental UV Photobiology. Editado por A. R. Young et al. Plenum Press, pp. 1-21.
- [3] J. C. van der Leun y F. R. de Gruijl, 1993. *Influences of ozone depletion on human and animal health.* UV-B Radiation and Ozone Depletion. Effects on Humans , Animals, Plants, Microorganisms and Materials. Editado por Manfred Tevini. Lewis Publishers, pp. 65-123.
- [4] R. D. Piacentini, 1993. *Radiación ultravioleta solar y su incidencia sobre la piel en periodo estival.* Actualizaciones Terapéuticas Dermatológicas (Revista del Colegio Iberoamericano de Dermatología), Vol. 16, pp. 111-124.
- [5] J. Herman, P. K. Bhartia, Z. Ahmad and D. Larko, 1994. *Change in 300nm to 340nm solar ultraviolet exposure at the ground between 1980 and 1993 estimated from Nimbus-7/Toms ozone data.* Enviado a publicación.
- [6] H. Moseley, 1994. *Ultraviolet and laser radiation safety.* Phys. Med. Biol. 39, 1765-1799.
- [7] A. F. McKinlay and B. L. Diffey, 1987. *A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin.* CIE J6 17.
- [8] R. D. Piacentini, 1995. *Método para la determinación de la intensidad UV solar y los consiguientes riesgos de exposición al Sol.* Informe OAM/IFIR 1/95.
- [9] T. Gross, 1994. *Ozone and ultraviolet products and services in Canada y Canada's operational UV Index program.* Workshop on UV-B for the Americas (Organización Meteorológica Mundial) . Buenos Aires.
- [10] C. S. Long, 1994. *UV forecasting.* Workshop on UV-B for the Americas (Organización Meteorológica Mundial) . Buenos Aires.
- [11] J. Herman, 1994. Laboratory for Atmospheres. Goddard Space Flight Center, NASA, USA. Comunicación privada.
- [12] R. D. Piacentini y J. Herman, 1995. *Carcinogenic and erythematous doses due to exposure to UV solar radiations in Latin-American and adjacent seas.* VI World Congress on Cancers of the Skin. Buenos Aires, Argentina.
- [13] C. S. Long y A. J. Miller, 1994. *Experimental Ultraviolet Index.* Workshop on UV-B for the Americas (Organización Meteorológica Mundial). Buenos Aires.