





# Disponibilidad y características de la radiación solar en Latinoamérica

**H. Grossi Gallegos** <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Luján

<sup>2</sup>Servicio Meteorológico Nacional

Buenos Aires, ARGENTINA

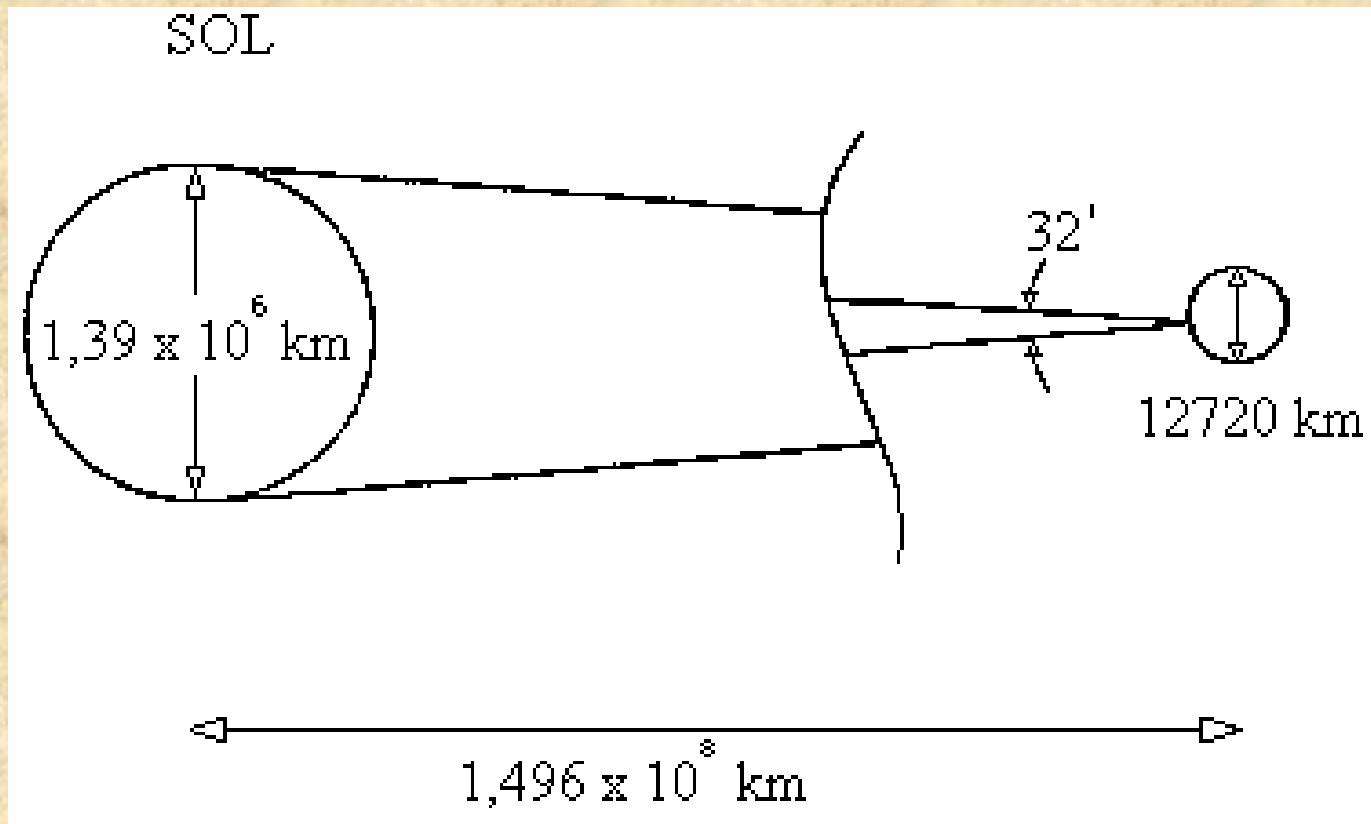


## El Sol y su energía

El Sol es una estrella, la más cercana al planeta Tierra; la que le sigue en proximidad dista 4 años luz (Alfa, de la constelación del Centauro), esto es, aproximadamente 37.8 billones de kilómetros ( $37.8 \times 10^{12}$  km). Su edad se estima en 4500 millones de años y es representativa de muchas otras más distantes, pero el hecho de su relativa cercanía permite la observación de algunos detalles que hablan acerca de su constitución.



## El Sol y su energía





## El Sol y su energía

La radiación que atraviesa la superficie del Sol tiene una potencia de alrededor de 60 MW/m<sup>2</sup> (megawatts sobre metro cuadrado), llegando al tope de la atmósfera terrestre sólo algo más de 1 kW/m<sup>2</sup>; este valor es conocido como *constante solar*  $I_{cs}$  y se la define como la energía proveniente del Sol que, por unidad de tiempo, es recibida en la unidad de área por una superficie perpendicular a la radiación ubicada en el espacio a la distancia media Sol-Tierra, y cuyo valor aceptado (O.M.M., 1982) es:

$$I_{cs} = (1367 \pm 7) \text{ W/m}^2$$





# La radiación solar y la atmósfera terrestre

La envoltura gaseosa de la Tierra (atmósfera) está constituida por una mezcla de gases, junto con elementos no gaseosos en suspensión formando un “aerosol”, tales como el polvo atmosférico (cenizas volcánicas, tierra muy fina, hollín) y seres microscópicos (bacterias y hongos) o partes de seres mayores (esporos de hongos superiores, polen de ciertas plantas). Sin ella no sería posible la vida conocida sobre la Tierra, como tampoco existirían las nubes, los vientos y las tormentas.



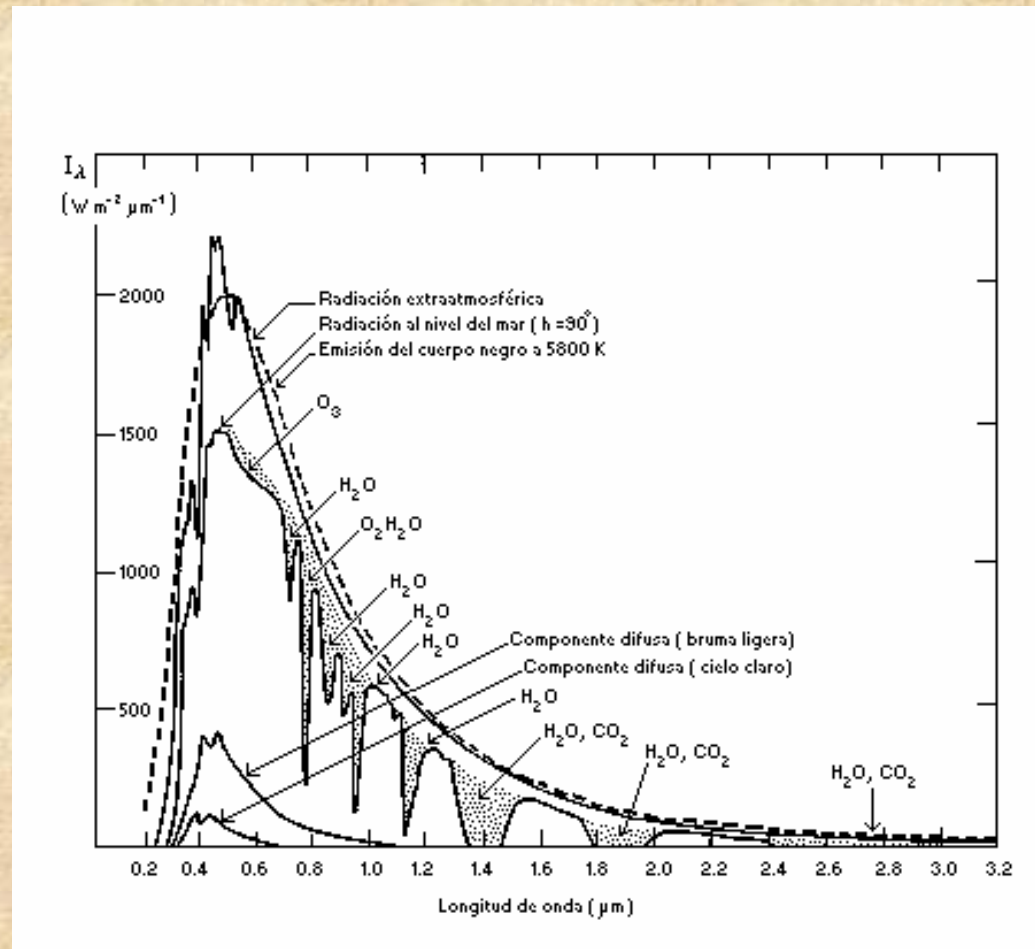
# La radiación solar y la atmósfera terrestre

La atmósfera terrestre actúa como una gran cúpula protectora que evita durante el día que incida sobre el suelo determinado rango de la radiación solar que perjudicaría a los seres vivos y, durante la noche, la pérdida excesiva de calor.

La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra está atenuada en su intensidad por diversos procesos que se producen a lo largo de su recorrido a través de la atmósfera



# La radiación solar y la atmósfera terrestre







# La radiación solar y la atmósfera terrestre

La atmósfera modifica las características de la radiación incidente: una parte de la misma, procedente del Sol y de la zona circunsolar ( $\approx 3^\circ$ ) mantiene la dirección y se conoce como *radiación directa*; la dispersada por el aire y las nubes pierde la dirección definida y llega al suelo desde todo el hemisferio superior, denominándose la *radiación difusa*. Si se agrega a esta última la dispersada por la superficie terrestre y la directa se obtiene el parámetro de interés energético que se mide sobre un plano: la *radiación global*.



# Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Uno de los primeros trabajos que presentó cartas con la distribución de la irradiación solar en Latinoamérica fue el de Black (1956) basado en su mayor parte en datos estimados a partir de correlaciones establecidas entre el índice de nubosidad y la radiación global (12 cartas mundiales para las que no utilizó datos de estaciones sudamericanas). Landsberg (1961) publicó años más tarde una revisión teniendo en cuenta nuevas mediciones llevadas a cabo durante el Año Geofísico Internacional, presentando un mapa de la distribución anual de la radiación global.



# Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

GENERALIZED ISOLINES OF GLOBAL RADIATION, SURFACE  
kg. cal. / cm.<sup>2</sup> / yr.

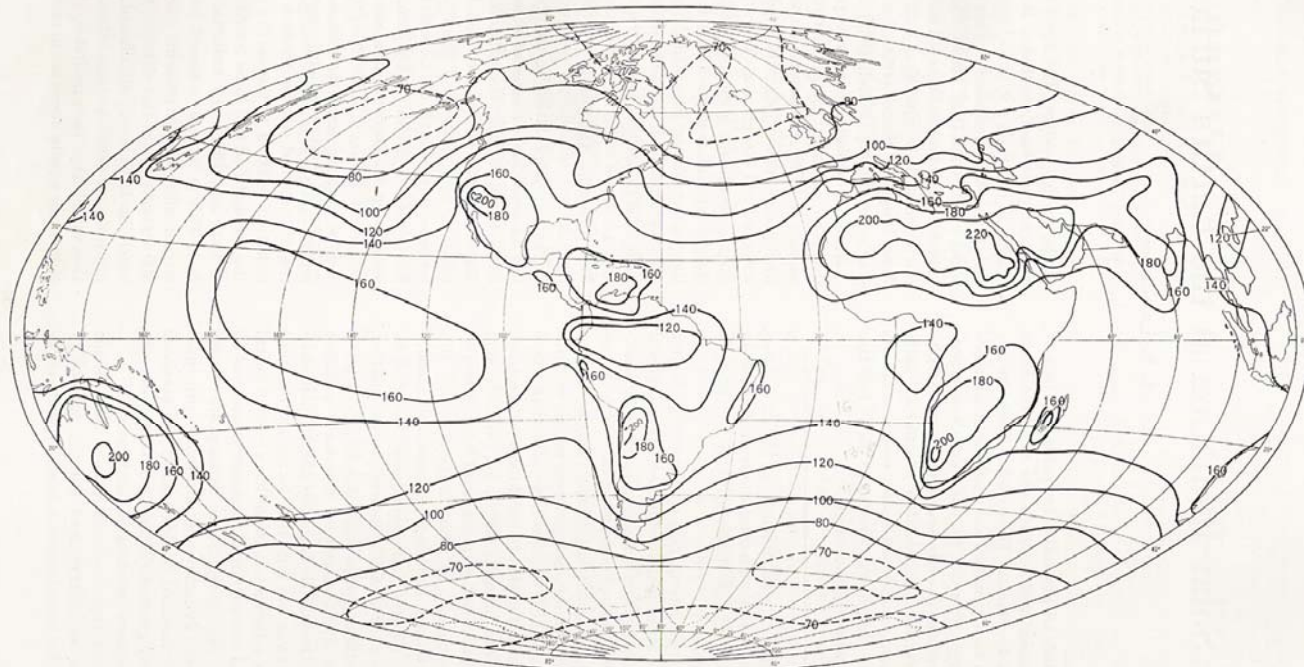


FIG. 1—Generalized isolines of global radiation, surface (kcal/cm<sup>2</sup>/yr)





## Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Los equipos instalados inicialmente en Latinoamérica con el fin de evaluar de alguna manera la radiación solar global fueron en general heliógrafos de Campbell-Stokes (destinados a medir las horas diarias de insolación o de brillo de sol, también conocida como *heliofanía efectiva*).





## Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

El piranógrafo consiste en una varilla bimetálica ennegrecida que absorbe la radiación y se curva como consecuencia de los diferentes coeficientes de dilatación de los metales que lo componen, lo que genera un movimiento que es transmitido a una pluma entintada que grafica un trazo sobre una faja de papel.

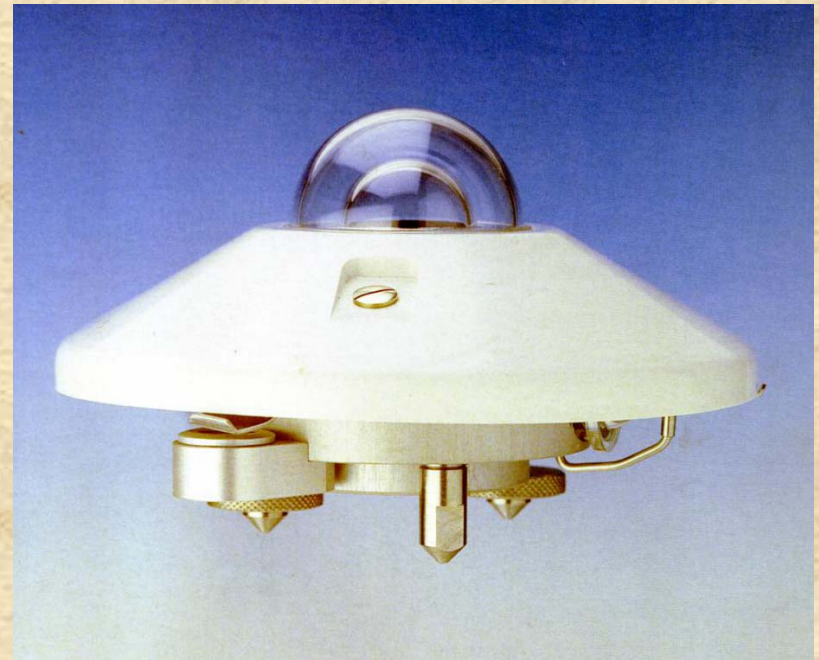






## Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Los piranómetros tienen como elemento sensible un conjunto de pares *termoeléctricos* de manera tal que, al hallarse sus juntas a diferentes temperaturas, se genera una diferencia de potencial entre ellas que es proporcional al salto térmico. Así, la salida eléctrica es proporcional a la radiación.





## Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Los llamados piranómetros *fotovoltaicos* poseen como elemento sensible una oblea de silicio que al recibir un flujo radiante genera una diferencia de potencial; esta respuesta no es plana sino selectiva, dependiendo de la longitud de onda de la radiación, lo cual limita su uso a la determinación de valores diarios de la irradiación global.





# Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

En 1966 se publicó el trabajo de Löf *et al.* en el que se presentaron 4 mapas mundiales de la distribución de la radiación total diaria incidente sobre una superficie horizontal, elaborados a partir de datos medidos de radiación o de estimaciones obtenidas a partir de horas de brillo solar (heliofanía) en diferentes localidades, incluyéndose ya algunas de Latinoamérica. Para el trazado de las líneas de igual valor se tuvieron en cuenta el peso estadístico de los promedios, la clasificación climática y la vegetación.





# Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

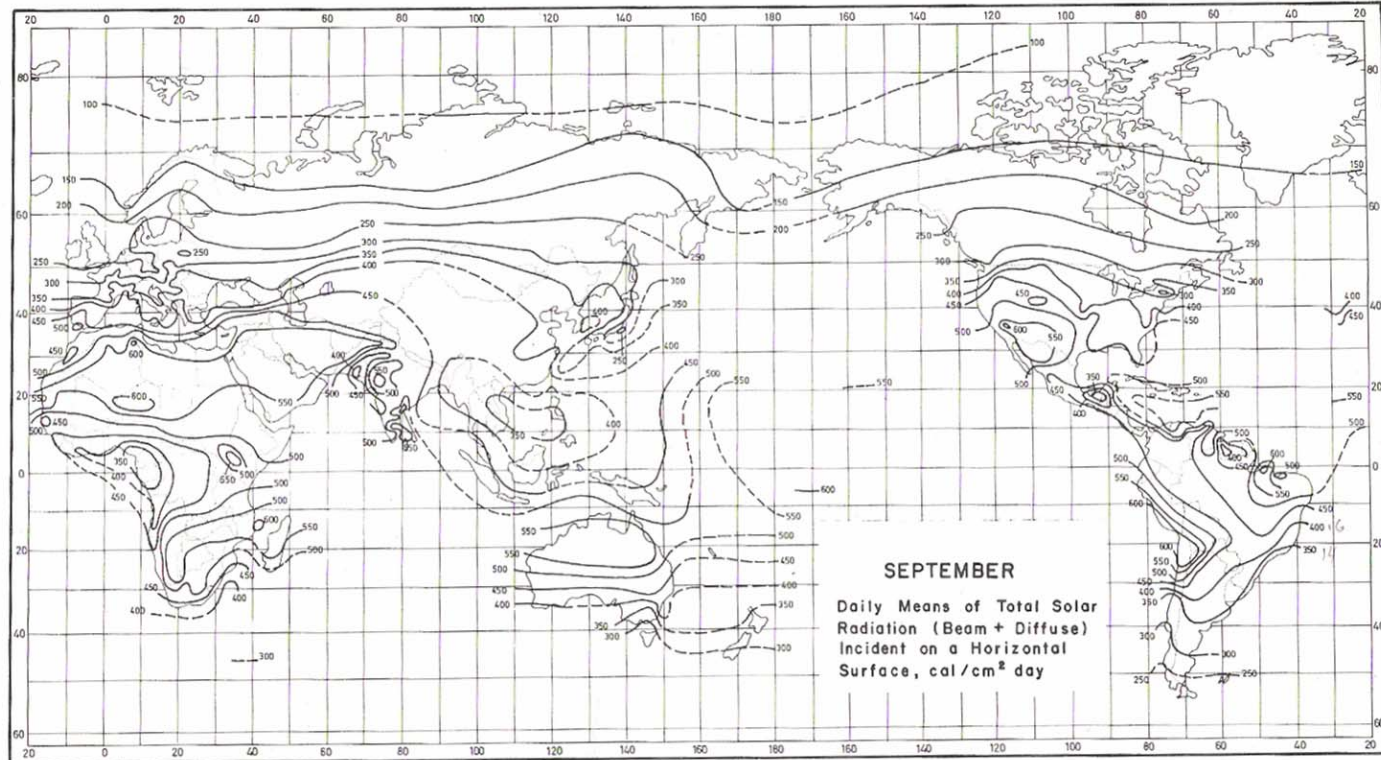


Figure 3.3.3 Daily radiation for September.



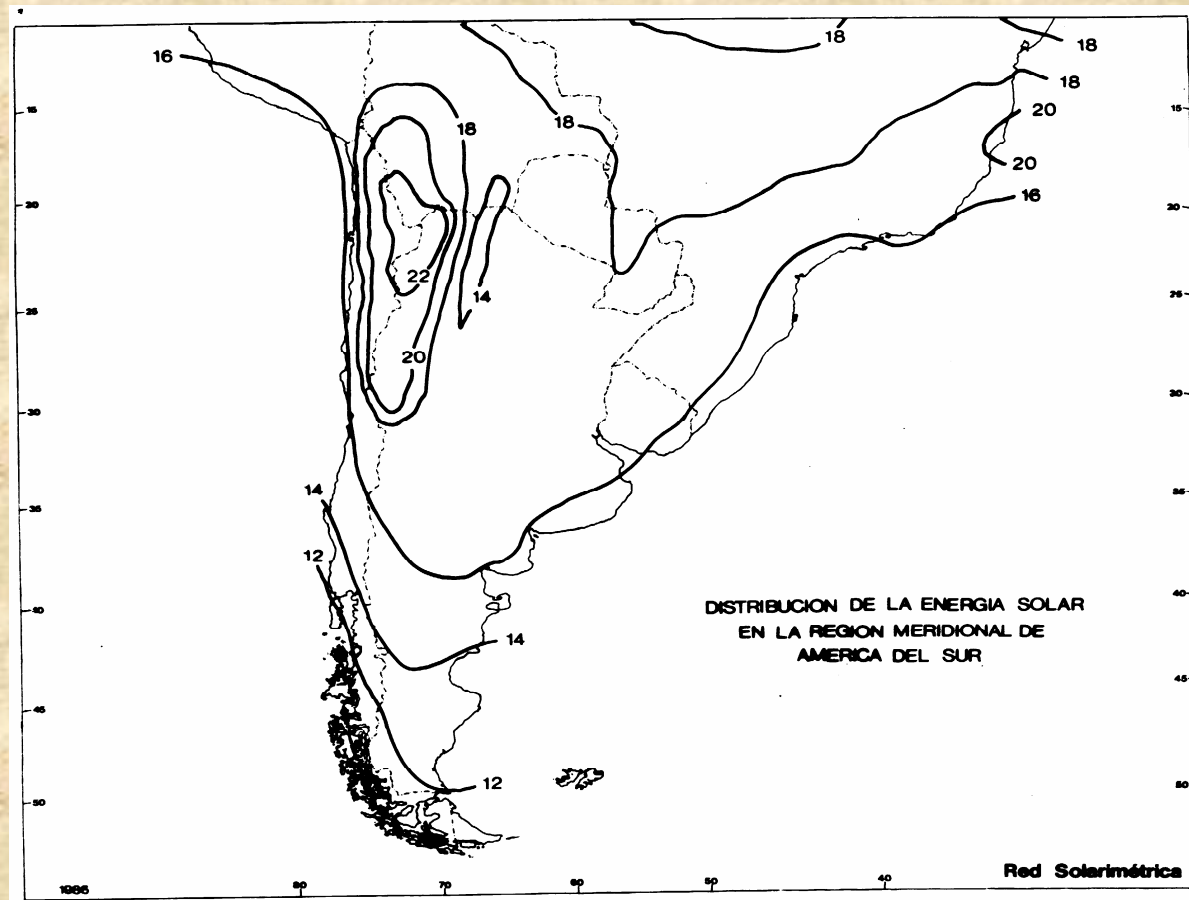
# Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Grossi Gallegos *et al.* (1986) presentaron un trabajo sobre la distribución del promedio anual de energía solar diaria en la región meridional de América del Sur, teniendo en cuenta tanto la información previa del Brasil cuanto la actualizada de la red piranométrica del Instituto Nacional de Meteorología-INMET, la disponible en Argentina y Chile, viéndose en la necesidad de elaborar evaluaciones preliminares para Paraguay y Bolivia.





# Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre





# Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Si bien el número de estaciones de medición de las horas de brillo solar (heliofanía) es muy elevado en Latinoamérica, no lo es tanto el dedicado a medir la irradiación global, y su confiabilidad, bastante cuestionable; además, los registros de heliofanía pueden tener muchos años de extensión pero, en general, los de irradiación son de corta vida o carecen de continuidad.

Por otra parte, en casi todos los países iberoamericanos se han elaborado algunas cartas con la distribución espacio-temporal del recurso pero difícilmente se las puede compatibilizar con las de países vecinos y aún, con las de otros autores del mismo país.



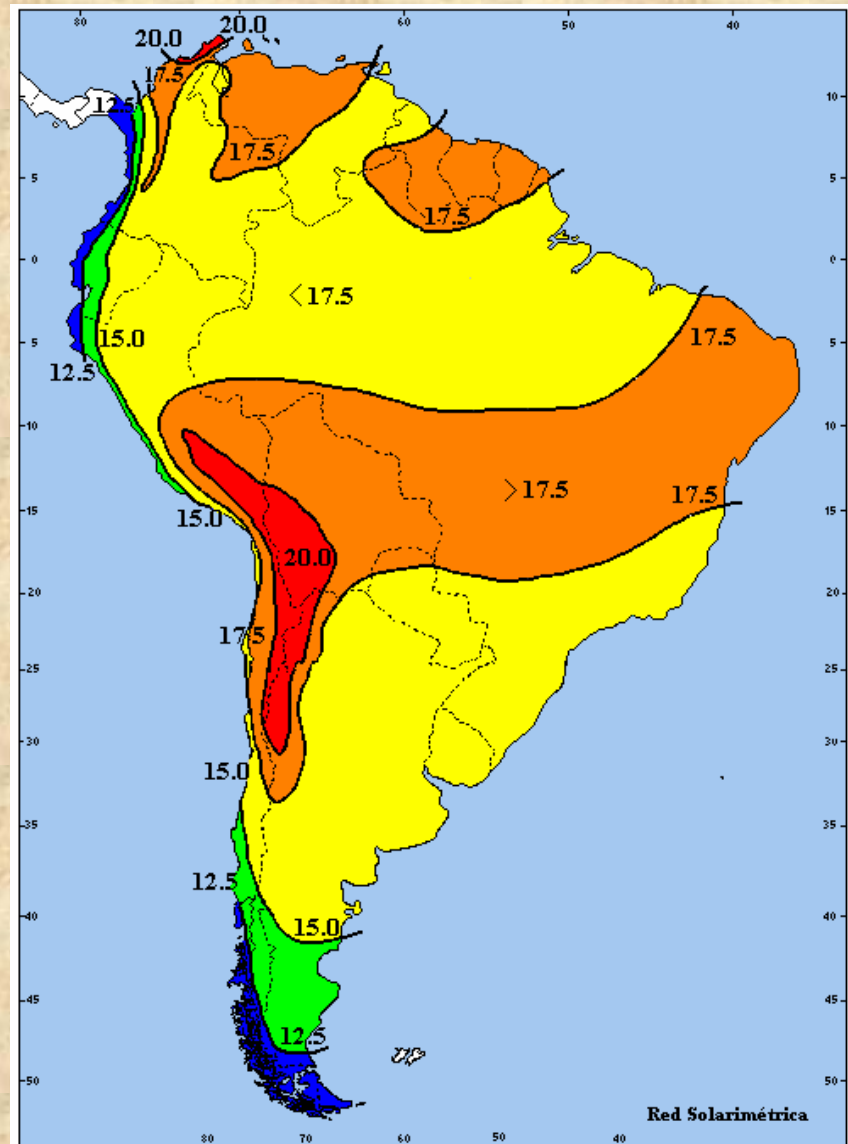
## Evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Como consecuencia de la información disponible hasta ese momento en América del Sur, Grossi Gallegos (1998) trató de compatibilizarla en una carta anual, encontrándose con extensas zonas en el centro del territorio en las que no se dispone de ninguna información confiable y otras en la que la misma es incompatible con otros registros.



Distribución espacial del promedio anual de la radiación solar global diaria en América del Sur (1998).

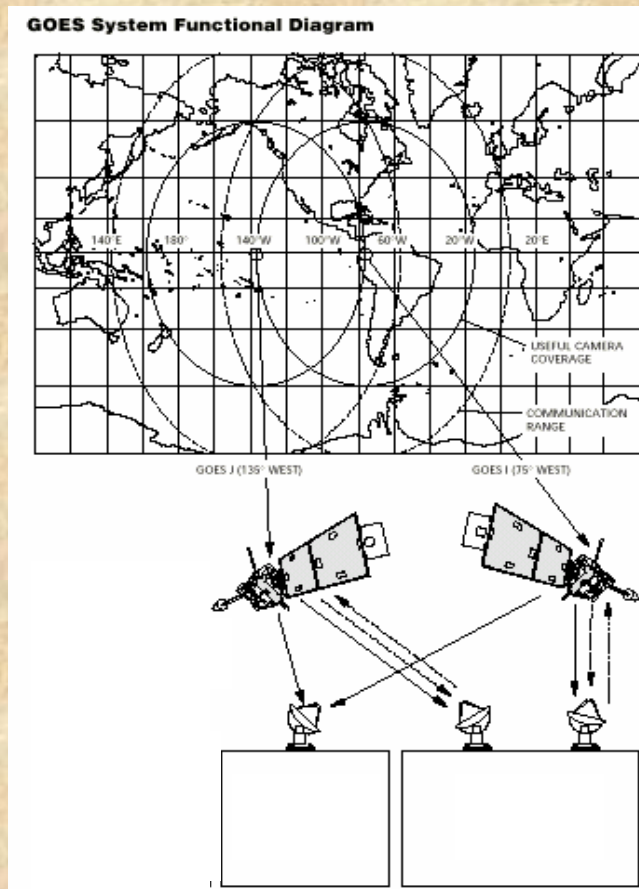
Los niveles de irradiación global diaria se indican en MJ/m<sup>2</sup> (la incerteza en los datos no permitió una menor separación entre isolíneas).







# Estimación satelital de la radiación solar



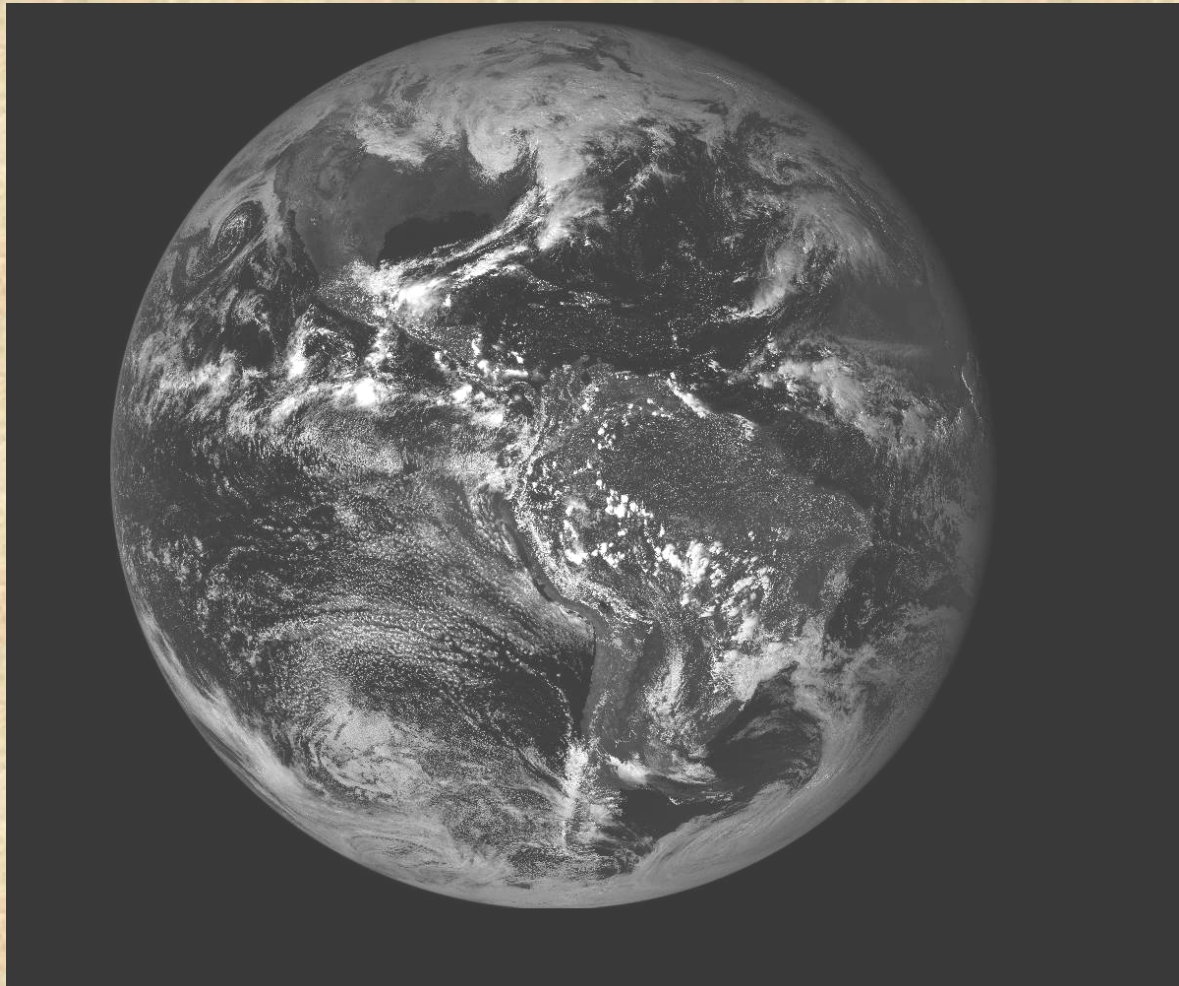
Para suplementar las mediciones de una red de tierra utilizando las estimaciones basadas en las mediciones efectuadas desde sensores embarcados en satélites geoestacionarios hoy existen fundamentalmente dos líneas: una que estima la irradiación solar utilizando métodos estadísticos tomando información medida en tierra, y la otra, que trata de estimar la irradiación a través de modelos físicos partiendo del cálculo de la transmitancia atmosférica.





*Solar Safe Water* – Iguazú, Argentina,  
Octubre 2005

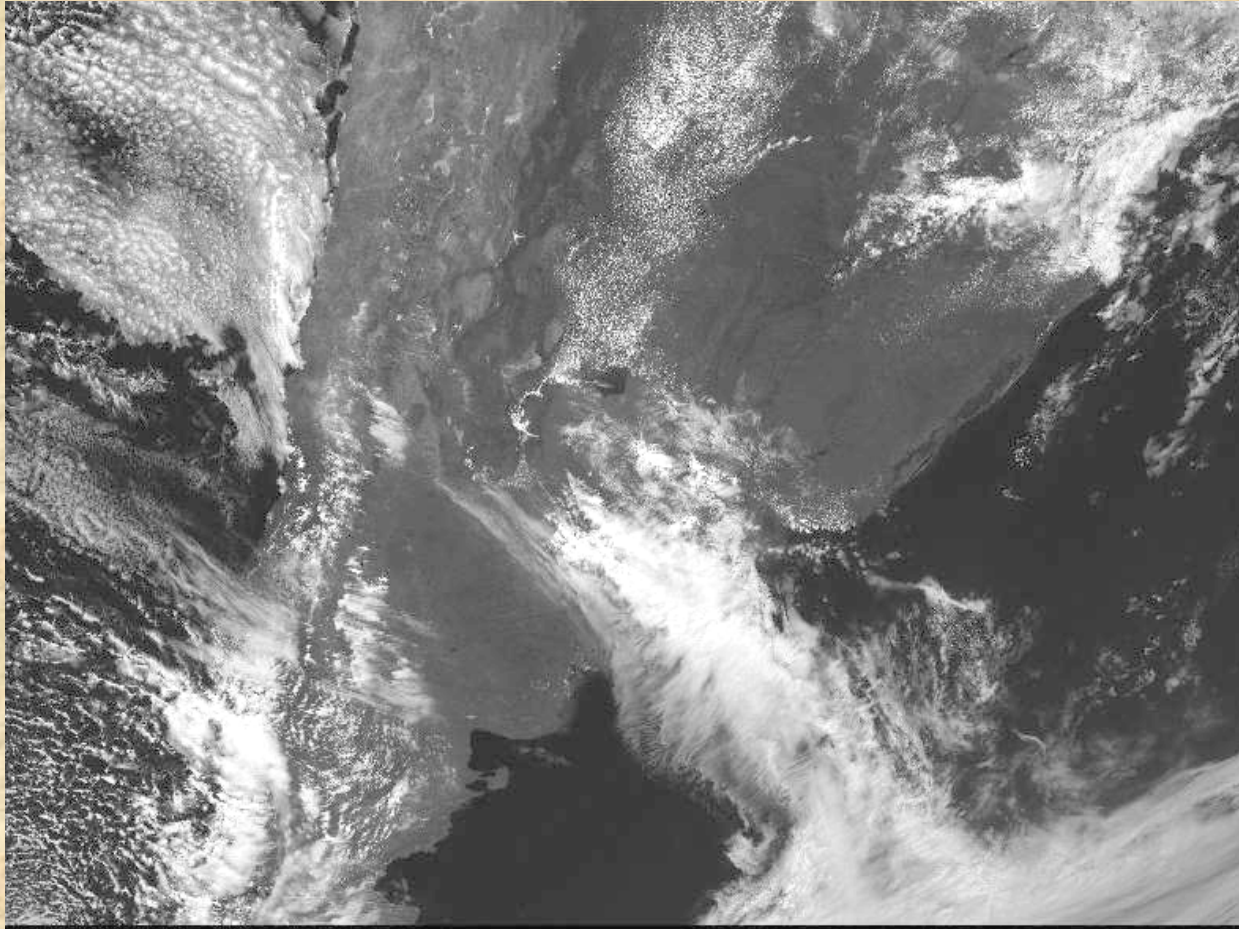
# Estimación satelital de la radiación solar

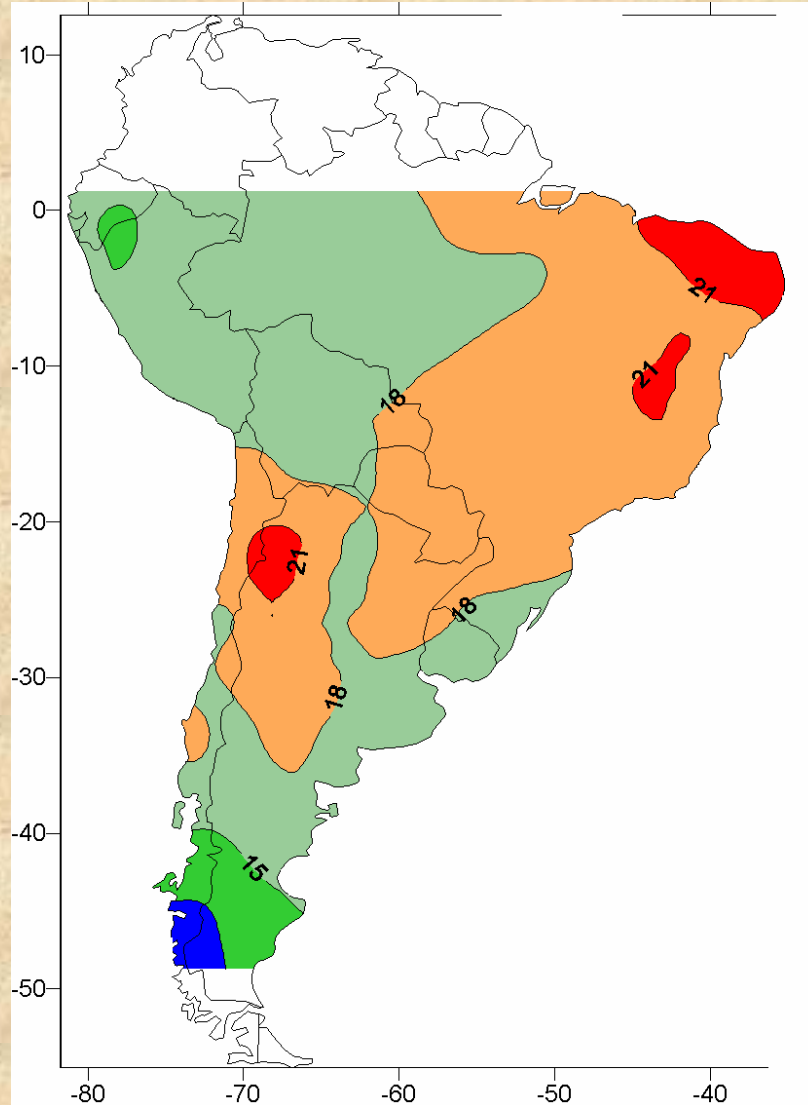




*Solar Safe Water* – Iguazú, Argentina,  
Octubre 2005

# Estimación satelital de la radiación solar









## Estimación satelital de la radiación solar

Los interesados pueden consultar los resultados en <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>; los promedios ofrecidos se basan en sólo 10 años, por lo que su representatividad climatológica es objetable, mientras que la incerteza de los resultados publicados va de 13 a 16%, de acuerdo con lo evaluado por sus responsables.



# Alternativas para la evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

Suehrcke (2000) propuso que la fracción de tiempo con días claros  $f_c$  (que estima con la heliofanía relativa) podría calcularse por la siguiente expresión:

$$\bar{n}/\bar{N} = (\bar{K} / \bar{K}_c)^2$$

Como el valor medio de  $K_c$  varía en general entre 0.65 y 0.75, asignarle el valor 0.70 le daría carácter universal.





## Alternativas para la evaluación de la radiación solar en la superficie terrestre

En lugares en los que se dispone de mediciones de irradiación global y de heliofanía se puede determinar localmente el índice de claridad para día claro.

Una alternativa sería calcular la irradiación global para un día claro a través de un modelo teórico simplificado usando un parámetro único para la dispersión, como se hizo para el Atlas europeo. Se puede obtener una relación entre ( $H_c/H_o$ ) y el índice de turbidez de Linke ( $T_L$ ) como único parámetro local (en 19 localidades del Brasil se logró un ajuste del 6.8 %).



# Grupo de Estudios de la Radiación Solar

Universidad Nacional de Luján, BA