

Pons, X. 1996. "Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica". A: VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Juaristi, J. i Moro, I. (eds.) Vitoria-Gasteiz.

---

## ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES. PROPUESTA METODOLÓGICA.

*Xavier PONS*

*Departament de Geografia i*

*Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals*

*UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA*

*08193 Bellaterra*

**RESUMEN** Se presenta una metodología para el cálculo de la radiación solar potencial en cualquier zona de la Tierra de la que se disponga de un modelo digital de elevaciones. El método contempla la trayectoria solar a lo largo del día, la distancia Tierra-Sol, la extinción atmosférica, los ángulos de incidencia en cada punto y los ocultamientos topográficos en cada punto. Se aplica el modelo para generar 12 mapas mensuales y 1 mapa anual en la zona de Cataluña.

**ABSTRACT** We present a methodology to compute the potential incoming radiation on any part of the Earth where a digital elevation model is available. The method takes into account the Sun path through the day, the Sun-Earth distance, the atmospheric attenuation, the incident angles on each point and the cast-shadow effects on each point. We apply the model to generate 12 monthly maps and one annual map on the Catalonia area.

### 1. INTRODUCCIÓN I OBJETIVOS

El Sol transforma, cada segundo, unos 4 millones de toneladas de su masa en energía. Esta cantidad ingente representa, para la Tierra, un foco energético de  $1.779 \cdot 10^{11}$  MW de potencia, que la sociedad humana y la biosfera utilizan de forma directa o indirecta ([VIDAL 1989](#)). La importancia de conocer con cierto detalle la energía solar que incide en un lugar el globo tiene una enorme importancia en términos ecológicos y económicos (el Sol proporciona el 99.97% de la energía usada en la superficie de la Tierra para todos los procesos naturales). En Cataluña, por ejemplo, la radiación global media diaria está sobre  $14.5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  ([BALDASANO et al. 1994](#)). Existen algunas obras publicadas ([NÚÑEZ y PÉREZ 1977](#), [FONT TULLOT 1983](#), [BALDASANO et al. 1994](#)) que recogen datos de radiación solar en forma de mapa. Sin embargo, estos trabajos normalmente se basan en la toma puntual de datos que después son extrapolados con técnicas numéricas para cubrir todo el territorio a cartografiar (superficies de tendencia, *kriging*, etc.). El inconveniente de estas técnicas radica en que no utilizan ningún dato auxiliar para inferir los valores del mapa. De esta manera, dos estaciones que presenten valores similares de un parámetro climático (en nuestro caso la radiación solar) y situadas a similar latitud no mostrarán ningún gradiente entre ellas, mientras que si existe un macizo montañoso entre las estaciones, resulta claro que la radiación solar sufrirá cambios importantes que un buen mapa debería reflejar. Estos mapas a menudo obvian el problema definiendo que el cálculo se realiza sobre zonas planas o en superficies perfectamente orientadas, buscando la máxima insolación. Este planteamiento hace que los mapas sean correctos en sus pretensiones pero, aunque son útiles para el diseño de instalaciones solares (que orientarán los captadores en la dirección adecuada), resultan e mucho menor interés en estudios de distribución de vegetación, correlación con las temperaturas, etc., porque el terreno ya tiene una orientación dada.

En este trabajo pretendemos hacer una aproximación a la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra

pero intentando modelizar físicamente el proceso sobre factores que podamos reproducir para cada punto del territorio (grado de exposición topográfica, ocultamiento topográfico, posición solar, etc.) a partir de datos astronómicos y de la disponibilidad de un modelo digital de elevaciones. De esta manera podremos confeccionar mapas de radiación solar que realmente tengan en cuenta la energía que llega a cada lugar del territorio, lo cual es importante si queremos comprender muchos aspectos de la geografía del planeta.

En el trabajo que presentamos calculamos la radiación potencial mensual y anual sobre Cataluña, (doce mapas mensuales más uno anual). Nos referimos a radiación potencial porque consideramos condiciones de atmósfera estándar (clara y sin nubes) ya que todavía no hemos introducido la consideración de la cubierta de nubes en cada época. El pequeño número de estaciones meteorológicas dotadas de instrumentos de medida de radiación solar o, simplemente, de registro cuantitativo de la cubierta de nubes, y la poca longitud temporal de los ciclos disponibles han hecho aconsejable presentar los resultados sin incluir este factor. Además, no podemos olvidar que esta situación es todavía la mayoritaria en toda la Tierra.

## 2. MODELO DE RADIACIÓN

### 2.1. *El papel del Sol*

#### 2.1.1. *La radiación solar en el techo de la atmósfera*

El flujo energético (energía por unidad de tiempo) recibido por unidad de superficie de un receptor se denomina irradiancia. El conocimiento de la irradiancia solar que llega al exterior de la atmósfera terrestre (irradiancia solar exoatmosférica o constante solar) es de suma importancia para estimar la que posteriormente llegará a cada punto de la superficie terrestre (v. 2.2). La Organización Meteorológica Mundial recomienda usar, como valor medio de la constante solar,  $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ([WMO 1982](#)). Este valor, también recomendado por la *International Association of Meteorology and Atmospheric Physics* (IAMAP) ([LONDON y FROHLICH 1982](#)), es el que adoptaremos en este trabajo y lo expresaremos con el símbolo  $S_0$ . [WILSON \(1993\)](#) expone diversos valores obtenidos entre 1976 y 1985; en esta serie se observa un rango de variación entre 1367.1 y 1368.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

El valor de  $S_0$  se da a la distancia media de la Tierra al Sol a lo largo de su órbita anual, es decir cuando la Tierra está a 1 U.A. (unidad astronómica) de distancia de la Tierra. En [2.1.2](#) veremos cómo modular este valor.

Los cambios puntuales en la actividad solar no los hemos considerado modelizables a pesar de poder provocar cambios sensibles en el valor de  $S_0$  ([WILSON, 1993](#)).

Para ciertos fines, más que  $S_0$ , que es una medida integrada a partir de la energía que llega en todas las longitudes de onda, resulta más útil fijarse en la irradiancia solar exoatmosférica espectral  $S_0(\lambda)$ , que se expresa en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$  y se refiere a la energía que llega en una determinada región del espectro electromagnético. Una típica aplicación de esto es la correlación con datos de fotosíntesis vegetal (evaluación de cosechas), de distribución de vegetación, etc.; en el caso de los estudios relacionados con la vegetación, la energía que realmente interviene en el fenómeno que queremos estudiar es la comprendida en las regiones azul (0.45-0.52  $\mu\text{m}$ ) y roja (0.63-0.69  $\mu\text{m}$ ) del espectro. Además, téngase en cuenta que la máxima intensidad de radiación se produce sobre los 0.5  $\mu\text{m}$ , con lo que estas regiones espectrales son indicativas de la irradiación energética global. Utilizaremos como valores de referencia de  $S_0(\lambda)$  los siguientes ([DOZIER 1989](#), [FINLAYSON-PITTS y PITTS, 1986](#)): azul (0.485  $\mu\text{m}$ ):  $1957 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$  y rojo (0.660  $\mu\text{m}$ ):  $1557 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$

#### 2.1.2. *La distancia Tierra-Sol*

El cálculo de la distancia Tierra-Sol, en unidades astronómicas (U.A.), se puede efectuar a partir de la

siguiente fórmula ([YANG y VIDAL, 1990](#)).

$$R = 1 / \{ [1 + e \cdot \cos((d-4) \cdot 2\pi / 365.25)] / (1 - e^2) \}$$

siendo  $d$  el día del año (1-365) y  $e$  la excentricidad de la órbita terrestre (0.01673).

El papel de  $R$  en la modulación de  $S_0$  puede ser expresado mediante la relación:

$$S_0' = S_0 / R^2.$$

### 2.1.3. La posición del Sol en la bóveda celeste

La radiación que llega a una superficie depende de cómo está orientada esta respecto a la fuente de energía, y concretamente depende del coseno del ángulo de incidencia. En nuestro caso cada superficie es una celda del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y la fuente de energía es el Sol.

Nótese que, dado que el Sol no ilumina perpendicularmente todos los puntos de la Tierra, estos no reciben toda la energía exoatmosférica que ilumina el disco terrestre, sino la energía disminuida en un factor  $\cos(\text{angl\_inc.})$  y que, naturalmente, también ha sido disminuida por el efecto amortiguador de la atmósfera.

Si hacemos pasar un plano por las  $Z$  (altitudes) de las 4 o 8 celdas vecinas a cada celda del MDE podemos calcular el vector tridimensional ortogonal al plano que describe su orientación espacial. Por otro lado, este vector forma con la posición solar (definida por su acimut y su altura: "vector solar") el ángulo de incidencia que buscamos. Los detalles del cálculo trigonométrico pueden ser consultados en [PONS \(1990\)](#).

En nuestra implementación la posición del Sol se calcula para cada uno de los 12 meses del año, pero, de acuerdo con [CORONAS et al. \(1982, p. 23\)](#) y con [MITJÀ y BATALLA \(1982, p. 16\)](#) no lo hacemos el día 15, sino el día para el cual la radiación exoatmosférica es más parecida a la media mensual para el mes considerado. Hemos calculado cuáles son esos días, de enero a diciembre: 19, 15, 16, 15, 15, 14, 19, 17, 16, 16, 15, 14. Otra posibilidad, 30 veces más costosa en cálculo pero muy poco más precisa, sería calcularlo para cada día del mes y promediar.

Una vez definidos los días en que calculamos la radiación solar, la posición del Sol se calcula cada hora a partir de la media hora posterior al alba, y hasta la puesta. En cada posición se realiza el cálculo de energía incidente para cada celda del MDE y se integra para toda la hora. La posición solar, dada por su acimut y altura, se obtiene a partir de conocidas fórmulas astronómicas (véase, por ejemplo, [CORONAS et al., 1982](#) o [MITJÀ y BATALLA, 1982](#)) que toman las coordenadas geodéticas del lugar, la fecha y la hora.

## 2.2. El papel de la atmósfera

### 2.2.1. Modelos sin atmósfera

Es posible plantear el estudio de la radiación incidente sin tener en cuenta la atmósfera ([FELICÍSIMO 1992](#)). Sin embargo, el resultado numérico sólo tiene valor comparativo entre zonas próximas geográficamente (sometidas a regímenes de nubosidad similares) y no puede ser comparado con mediciones reales de radiación efectuadas sobre la superficie terrestre.

### 2.2.2. Modelos basados en atmósferas estándar

La radiación total ( $E_{\text{tot}}$ ) que llega a una superficie terrestre puede definirse por:

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{i}} + E_{\text{dif}} + E_{\text{r}}$$

siendo  $E_{\text{i}}$  la radiación directa,  $E_{\text{dif}}$  la radiación difusa y  $E_{\text{r}}$  la radiación reflejada ([MITJÀ y BATALLA, 1982](#)). La modelización del amortiguamiento atmosférico ha sido abordada, entre diversos colectivos, por los

investigadores en teledetección ([BARIOU 1984](#), [TANRÉ et al., 1986 y 1990](#)); en este, como en otros campos, hallamos desde soluciones muy simples a modelos muy complejos pero difícilmente aplicables por falta de conocimiento de datos. Una expresión ampliamente utilizada propone:

$$E_i = S_0 \cdot e^{(-\tau_0/\alpha_0)}$$

donde  $\alpha_0$  es el coseno del ángulo de incidencia y  $\tau_0$  es la densidad óptica de la atmósfera.

En situaciones de atmósfera limpia y con pocas nubes es posible definir valores estándar para  $\tau_0$ . [DOZIER \(1989\)](#) cita algunos *U.S. Standard values* referidas a las longitudes de onda antes comentadas: azul=0.5, rojo=0.25. Si se desea trabajar en todo el espectro pueden usarse los valores de [ROTHERMEL et al. \(1986\)](#) mostrados en el siguiente cuadro:

Valor de $\tau_0$	Descripción cualitativa
0.223	Atmósfera excepcionalmente clara
0.288	Atmósfera clara forestal media
0.357	Neblina forestal moderada (azul)
0.511	Neblina densa

También puede hacerse una estima empírica a través de datos de radiación solar directa tomada en observatorios (e.g., [Instituto Nacional de Meteorología, 1986](#)).

Respecto a  $E_{dif}$ , diversos estudios han mostrado que  $E_{dif}/E_{tot}$  varía inversamente en función de la proporción  $E_{tot}/S_0$ . Según los autores, pueden aplicarse diversas funciones de ajuste: lineales ([PAGE 1986](#)), cúbicas ([LIU y JORDAN 1960](#)) o más complejas ([COLLARES y RABVL 1979](#)). Si se opta por aplicar un modelo de días claros, puede asumirse la aproximación que  $E_{dif}$  es el 20% de  $E_i$ .

### 2.2.3. La nubosidad

Cuando la cubierta de nubes es importante, o cuando una zona está en la sombra,  $E_i$  vale cero, y  $E_{tot}$  proviene mayoritariamente de  $E_{dif}$ . El problema al realizar un mapa de radiación media mensual o anual es saber la proporción de nubes que, en promedio, hay en una zona y qué efecto tienen sobre la radiación. La medida tradicional en octavos de cielo cubierto es poco adecuada para la modelización. Además, [NÚÑEZ y PÉREZ \(1977, p.36\)](#) no obtuvieron correlaciones muy fieles entre cobertura de nubes e insolación ( $r=0.70$ ) (véase también [ROBINSON, 1966, capítulo 4](#)). Una aproximación mucho mejor es utilizar datos de estaciones con lectura de radiación solar. En este caso, la comparación de los datos potenciales (convenientemente recalculados para tipos de superficies equivalentes a las que representan los sensores de las estaciones a nivel de orientación hacia la fuente de luz) con los datos reales permitirá solucionar simultáneamente dos problemas: el de la nubosidad y el del ajuste sobre datos reales, haciendo que el modelo proporcione datos con un sentido físico bastante aceptable. Las estaciones del INM que toman datos de radiación solar, en Cataluña y su entorno inmediato son sólo 8 ([Instituto Nacional de Meteorología 1986](#)). A nivel español, la situación no es mejor: en 1983 había 35 estaciones del INM funcionando, de las cuales sólo 7 tenían un registro superior a 5 años ([FONT TULLOT 1983](#)). La situación ha ido mejorando en los últimos años, pero debe recordarse que para la mayoría de lugares del planeta continuamos sin tener estaciones con registro de radiación solar.

### 2.3. El papel de la orografía

El papel de la orografía viene dado por diversos factores. En primer lugar tenemos el ángulo de incidencia, el coseno del cual modula qué parte de la energía realmente llega por cada  $m^2$  de superficie de terreno. Si dicho ángulo es superior a  $90^\circ$ , los valores negativos del coseno simplemente indican que no llega radiación solar directa (*self-shadowed areas*).

En segundo lugar, el relieve influye provocando zonas topográficamente ocultas respecto a la fuente de radiación (*cast-shadowed areas*). Utilizamos para este cálculo una modificación propia del algoritmo propuesto por [DOZIER et al. \(1981\)](#). Aunque esta consideración es costosa en tiempo de cálculo, se hace imprescindible en estudios que consideran la radiación integrándola desde el alba hasta el ocaso.

En este estudio no tenemos en cuenta la radiación reflejada por superficies vecinas ( $E_r$ ) ni, en el cálculo de la radiación difusa, la cantidad de bóveda celeste que un horizonte de montañas oculta ([GRACIA 1983](#)). En el primer caso la razón es la imposibilidad de crear una aproximación realista; en el segundo caso la razón es en términos de tiempo de cálculo y papel relativamente poco importante, aunque planeamos integrarlo en un futuro próximo.

### 3. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

#### 3.1. Características del modelo de radiación propuesto

##### \* Factores que el modelo tiene en cuenta

- Trayectoria solar a lo largo del día (horaria)
- Distancia Tierra-Sol (mensual)
- Extinción atmosférica
- Ángulos de incidencia en cada punto (precisión dependiente de la resolución planimétrica del MDE, en este caso de 500 m de costado de celda)
- Sombras proyectadas (ocultamientos topográficos) en cada punto (precisión en acimut:  $10^\circ$ , precisión en altura:  $1^\circ$ )

##### \* Factores que el modelo NO tiene en cuenta

- Variaciones latitudinales de la posición solar, ya que esta se calcula, en todo momento, para el centro del MDE sobre el cual estamos efectuando los cálculos. Si la zona tuviera un importante gradiente latitudinal (más de  $3^\circ$ ) sería necesario dividir el fichero en fajas transversales o adaptar el programa convenientemente.
- Curvatura de la radiación al alba y en el ocaso por efecto de la refracción atmosférica.
- La extinción de la luz no sigue la misma función exponencial negativa cuando los ángulos de incidencia son muy grandes (alba y ocaso). Sin embargo, en estos casos la energía que llega es muy pequeña y, pues, el error.
- Variaciones de la radiación difusa en función de la proporción de radiación total respecto a la exoatmosférica.

#### 3.2. Características del Modelo Digital de Elevaciones utilizado

Resolución: 500 m en x y en y. Precisión planimétrica: 50 m. Precisión altimétrica: 20 m. Ámbito: Cataluña (132857 celdas). Fuente: Sistema d'Informació Territorial de Catalunya (SITC), depurado por la UAB.

#### 3.3. Software desarrollado y características del producto obtenido

Para este modelo se ha desarrollado un conjunto de programas en lenguaje C. El proceso final da lugar a 13 ficheros correspondientes a la insolación potencial mensual de los 12 meses del año más un mapa de la radiación potencial anual. Las unidades en que se expresan los resultados son  $10 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ , de acuerdo con la escala establecida el 1980 como Referencia Radiométrica Mundial (WRR) ([Instituto Nacional de Meteorología 1986](#)). Los valores de cada mapa se almacenan en ficheros de valores enteros que ocupan 2 bytes (16 bits) por cada celda.

#### 4. RESULTADOS

La siguiente tabla muestra los valores de irradiación en la región espectral del azul durante los meses de los solsticios y equinoccios para tres zonas seleccionadas: Una umbria (cara N) y una solana (cara S) del Cadí (una cordillera de alineación prácticamente perfecta W-E) y una zona plana (el propio mar).

	Radiación Solar ( $10 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ )			
	Mín-Máx	Umbria Cadí	Mar	Solana Cadí
Marzo	304-2423	1174	1820	2382
Junio	644-3538	3105	3489	3277
Sept.	364-2664	1562	2183	2639
Dici.	80-1008	80	480	932

Nótese que la solana del Cadí, como zona de extraordinaria pendiente, llega a presentar en verano (con el Sol muy alto) valores más bajos que una zona plana (mar), ya que los ángulos de incidencia llegan a ser mayores que en las mismas zonas planas.

#### REFERENCIAS

- BALDASANO, J.M., J. CALBÓ y J. MORENO (1994) *Atlas de radiació solar a Catalunya (dades del període 1964-1993)*. Informe RS94. Institut de Tecnologia y Modelització Ambiental - Universitat Politècnica de Catalunya. Terrassa. 57 p. + annexos.
- BARIOU, R., D. LECAMUS y F. LE HENAFF (1986) *Corrections radiométriques*. Presses Universitaires de Rennes 2, Rennes. 91 págs.
- COLLARES, M. Y A. RABL (1979) "The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values." *Solar Energy*, 22:155-164. Dades de la regressió a Mitjà i Batalla, p.14
- CORONAS, A., M. LLORENS y M. VILLARRUBIA (1982) *Energía solar a Catalunya: Radiació solar y insolació*. Departament d'Indústria y Energia de la Generalitat de Catalunya i Universitat de Barcelona. Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona. 260 p.
- DOZIER, J., J. BRUNO y P. DOWNEY (1981) "A faster solution to the horizon problem." *Computers and Geosciences* 7:145-151.
- DOZIER, J. (1989) "Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper." *Remote Sensing of Environment*, 28:9-22.
- FELICÍSIMO, Á.M. (1992) *Aplicaciones de los modelos digitales del terreno en las ciencias ambientales*. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Oviedo. 235 p.

FONT TULLOT, I. (1983) *Atlas climático de España*. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid. 103 mapes.

FINLAYSON-PITTS, B.J. y PITTS JR., J.N. (1986?? Data deduïda del fet que les publicacions més modernes de la bibliografia són del 85) *Atmospheric chemistry: Fundamentals and experimental techniques*. págs. 93-129. John Wiley & Sons. NY.

GRACIA, C. (1983) *La clorofila en los encinares del Montseny: Interpretación como una optimización del aprovechamiento de la luz. (Contribución a una teoría del árbol.)* Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona. Barcelona. 234 p.

LIU, B.Y.H. y R.C. JORDAN (1960) "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation" *Solar Energy*, 4(3).

Instituto Nacional de Meteorología (1986) *Radiación Solar en España. Año 1983*. INM. Madrid. Publicación D(estadísticas)-45.

LONDON, J. y C. FROHLICH (1982) *Extended abstracts presented at the symposium on the solar constant and the spectral distribution of solar irradiance*. International Association of Meteorology and Atmospheric Physics. Third Scientific Assembly. Hamburg. Federal Rep. of Germany, 17-28 Aug. 1981. IAMAP. Innsbruck. Austria.

MITJÀ, A. y E. BATALLA (1982) *Manual de radiación solar. Tablas para Catalunya*. Volumen 1. Universitat Politècnica de Catalunya i Instituto de Ciencias Energéticas -ETSIIB. Ed. Prensa XXI. Barcelona. 137 p.

NÚÑEZ, J.M. y J.PÉREZ (1977) *Distribució del balanç de la radiació a Catalunya*. Institut d'Estudis Catalans. Arxius de la Secció de Ciències, LVI. IEC. Barcelona. 122 p.

PAGE, J.K. (1986) *Prediction of Solar Radiation on Inclined Surfaces*. Solar Energy, R&D in the European Community. Series F: Solar Radiation Data, 3. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. Citació copiada del treball de Baldasano, p. 57.

PONS, X. (1990) *Utilització d'un model de correcció radiomètrica sobre imatges de satèl·lit per a la millora de la cartografia automàtica de la vegetació. Serra de Collserola*. Tesi de llicenciatura. Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Ciències, Bellaterra.

ROBINSON, N. (1966) *Solar Radiation*. Elsevier. Amsterdam.

ROTHERMEL, R.C., R.A. WILSON, G.A. MORRIS y S.S. SACKETT (1986) *Modeling moisture content of fine dead wildland fuels*. USDA Forest Service research paper. INT-359. Ogden. Utah.

TANRÉ, D., C. DEROO, P. DUHAUT, M. HERMAN, J.J. MORCRETTE, J. PERBOS y P.Y. DESCHAMPS (1986) *Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (5S)*. Laboratoire d'Optique Atmosphérique, Université des Sciences et Techniques de Lille.

TANRÉ, D., C. DEROO, P. DUHAUT, M. HERMAN, J.J. MORCRETTE, J. PERBOS y P.Y. DESCHAMPS (1990) "Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: 5S" *International Journal of Remote Sensing*, 11:659-668.

VIDAL, J.M. (1989) "Energia Solar" In "Gran Enciclopèdia Catalana". Vol.18, págs. 112-113. Fundació Enciclopèdia Catalana. Barcelona.

WILSON (1993) "Solar irradiance" In Gurney, R.J., J.L. Foster i C.L. Parkinson (ed.) *Atlas of satellite observations related to global change*. págs. 5-18. Cambridge University Press.

Cambridge. ISBN: 0-521-43467-X

World Meteorologic Organization (1981) *The stratorsphere, 1981. Theory and Measurements*. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. Report No. 11, May 1981. Citat en el llibre fotocopiat de l'Antonio Otero (Atmospheric Chemistry), p. 93

World Meteorologic Organization (1982) *Comission for instruments and methods of observation*. Abridged Final Report of the 8th Session, WMO-#590, Geneva. Citat en el llibre blau del CREAM que conté disquets (Applied Environmetric Meteorological Tables, de Tom Beer), p. 19 i p. 21

YANG, C. y A. VIDAL (1990) "Combination of Digital Elevation Models with SPOT-1 HRV Multispectral Imagery for Reflectance Factor Mapping." *Remote Sensing of Environment*, 32:35-45.