

ESTUDIO DE LA TURBIDEZ ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE SAN LUIS

C. Raichijk¹ y A. Fasulo²

¹GERSolar, Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES), Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Lujan, Ruta 5 y Avda. Constitución, (6700) Lujan, Buenos Aires, ARGENTINA, Tel./Fax: (54-2323) 440241, E-mail: gersolar@mail.unlu.edu.ar
² Dpto. de Física, Fac. de Cs. Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera, (5700) San Luis, ARGENTINA.

Recibido:13-04-10; Aceptado:10-5-10.

RESUMEN.- Se determinan para la ciudad de San Luis valores medios mensuales de los índices de turbidez de Linke para una aeromasa igual a 2, $T_L(M2)$, y de Ångström, β . Se cuenta para ello con datos horarios simultáneos de irradiación solar global sobre plano horizontal e irradiación normal directa, complementados con valores horarios de temperatura y diarios de humedad relativa y columna total de ozono de origen satelital para el período 2000-2004. Luego de seleccionar los datos de irradiación solar correspondientes a días de cielo claro se empleó el llamado modelo de cielo claro europeo (ESRA) para la determinación del índice de turbidez de Linke para una aeromasa igual a dos y el método propuesto por Louche *et al.* para estimar el índice de turbidez de Ångström. Se encontró una buena correspondencia entre ambos índices con un coeficiente de correlación, R^2 , para la totalidad de los valores horarios estimados igual 0.85. Por otro lado, se compararon los valores medios mensuales de $T_L(M2)$ estimados en este trabajo con valores para San Luis que se publican en cartas mundiales del parámetro por el proyecto SoDa, hallando un desvío medio y un sesgo medio relativos entre estos valores iguales a 17.1% y 16.3% respectivamente, siendo en todos los meses del año más bajos los valores publicados por el proyecto SoDa.

Palabras claves: Turbidez, Linke, Ångström, San Luis, Argentina.

A STUDY OF ATMOSPHERIC TURBIDITY FOR THE SAN LUIS CITY

ABSTRACT.- Monthly average values of the Linke turbidity factor for an air mass equal to 2, $T_L(M2)$, and the Ångström turbidity coefficient, β was determined for the city of San Luis. The considered data were the simultaneous hourly data of solar global irradiation on horizontal surface and direct normal irradiation, supplemented with hourly values of temperature and daily measurements of relative humidity and total column ozone satellite origin corresponding to the period 2000-2004. After selecting the data of solar radiation corresponding to clear sky days the European Clear Sky Model of the ESRA was used determining the Linke turbidity factor for an air mass equal to 2 and the method proposed by Louche *et al.* to estimate the Ångström turbidity coefficient. We found a good correspondence between the two turbidity factors with a correlation coefficient, R^2 , for all hourly values estimated, equal to 0.85. On the other hand, monthly average values of $T_L(M2)$ estimates in this work were compared with values for the San Luis published in worldwide maps of the parameter by the SoDa Project, finding a root mean squares and mean bias relatives errors between these values equal to 17.1% and 16.3% respectively, being lower values published by the project SoDa in all months of the year.

Keywords: Turbidity, Linke, Ångström, San Luis, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando incide sobre la superficie terrestre, la radiación que proviene del sol ha sido atenuada al ser parcialmente absorbida y dispersada por los distintos elementos constitutivos de la atmósfera, presentes en un determinado momento y lugar. A los componentes atmosféricos permanentes se agregan otros, que varían fuertemente en el tiempo y de lugar en lugar, tales como las partículas en suspensión llamadas aerosoles y el contenido de vapor de agua. Se entiende por turbidez a la atenuación de la radiación solar incidente debido a la presencia de aerosoles en la atmósfera. En los distintos modelos de atenuación de la radiación solar, tanto espectrales como integrados para toda longitud de onda, se definen índices o coeficientes de

turbidez que permiten evaluar dicho proceso de atenuación. Los más frecuentemente utilizados son los llamados índice de turbidez de Ångström, β , e índice de turbidez de Linke, T_L .

Debido a que los efectos de atenuación por absorción y dispersión por aerosoles son difíciles de discernir, Ångström propuso una expresión única para el espesor óptico de aerosoles $\delta_{a\lambda}$:

$$\delta_{a\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

con λ expresada en μm .

En (1), β , cuyos valores varían generalmente entre 0 y 0.5, es indicativo de la cantidad de aerosoles presentes en la atmósfera en la dirección vertical. El exponente α está relacionado con el tamaño medio de las partículas, bajos valores de α corresponden a partículas de mayor tamaño. Un buen valor medio para la mayoría de las atmósferas naturales es $\alpha = 1.3 \pm 0.2$ (Leckner, 1978).

Los coeficientes β y α se determinan simultáneamente a partir de mediciones de irradiación solar monocromática en dos longitudes de onda donde la absorción molecular es despreciable. Las longitudes de onda usualmente utilizadas son de 0.38 y 0.5 μm . Teniendo en cuenta (1), β , también puede ser obtenido sólo con mediciones para $\lambda = 1 \mu\text{m}$. Dado que datos de irradiación solar monocromática son, en general, muy poco frecuentes se recurre a valores integrados para determinar β . Louche *et al.* (1987) y Pinazo *et al.* (1995) emplearon distintos modelos parametrizados de cielo claro con tal objetivo. Numerosos autores obtuvieron en distintos lugares del planeta valores medios mensuales de β a partir de mediciones integradas de irradiación solar (Cañada *et al.*, 1993; Gueymard y Garrison, 1998; Pedrós *et al.*, 1999; Hussain *et al.*, 2000; Li y Lam, 2002).

El índice de turbidez de Linke, $T_L(M)$, en un modelo parametrizado de atenuación de la radiación solar bajo condiciones de cielo claro determina el número de atmósferas limpias y secas equivalentes debido al contenido de humedad y de aerosoles presentes en la atmósfera. Sus valores varían entre 1 y 10. Distintas expresiones se han propuesto para el espesor óptico integrado de Rayleigh definido en función de la aeromasa, Kasten (1996). El modelo de cielo claro utilizado en este trabajo es el empleado en la confección del Atlas Europeo de Radiación Solar (ESRA), detallado por Rigollier *et al.* (2000), incluyendo las posteriores correcciones con respecto a la altura descriptas por Remund *et al.* (2003).

2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En el presente trabajo se ha utilizado una base de datos horarios simultáneos de irradiación solar global sobre plano horizontal e irradiación normal directa tomados en el Laboratorio de Energía Solar (LES) de la Universidad Nacional de San Luis durante el período 2000-2004. El LES se encuentra ubicado en el centro de la ciudad (33,27° S; 66,35° O; 730 msnm). Sobre el techo del mismo fueron instalados un piranómetro Eppley (PSP) y un pirheliómetro de incidencia normal (NIP), de la misma marca. Una vez por año, ambos sensores fueron calibrados mediante el empleo de un pirheliómetro absoluto de cavidad, conforme procedimientos recomendados por diversos autores, Grossi Gallegos (2002).

Esta información ha sido complementada para el mismo período con datos horarios de temperatura y diarios de humedad relativa, suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN); y valores diarios de columna total de ozono, publicados por NASA en su página TOMS (<http://toms.gsfc.nasa.gov>).

En primer lugar se realizó un control de calidad de los valores de irradiación solar en base horaria siguiendo el procedimiento recomendado por el NREL, National Renewable Energy Laboratory, (Maxwell *et al.*, 1993). Se calculan de manera simultánea para alturas solares mayores a 10° k_n , cociente entre la irradiación normal directa (I_n) y

la irradiación extraterrestre de incidencia normal (I_{0n}) y k_t , índice de claridad horario, cociente entre la irradiación global (I) y la irradiación extraterrestre (I_0), ambas sobre plano horizontal. Se grafican luego los valores obtenidos en un plano k_n vs k_t .

Excluyendo los valores que no satisfagan la relación $k_t > k_n$, la nube de puntos, que adopta una forma característica, es acotada en sus valores máximos y a derecha e izquierda por curvas experimentales de tal manera de incluir la mayor cantidad de información posible. Las curvas que definen los límites a derecha e izquierda son funciones $k_n = f(k_t)$ parametrizadas de doble exponencial llamadas funciones de Gompertz que representan, en una primera aproximación, el comportamiento teórico de estas variables según el modelo de cielo claro de Bird (Bird and Hulstrom, 1981) para distintas condiciones climáticas. Estas funciones y los valores máximos esperados de k_n y k_t se ajustan para cada nube de puntos agrupados en función de la aeromasa, m , en tres grupos: para $1 < m < 1,25$ o ángulos cenitales “bajos”, para $1,25 < m < 2,5$ o ángulos cenitales “medios”, y para $2,5 < m < 5,76$ o ángulos cenitales “altos”, de acuerdo a la terminología empleada por los autores.

Luego se seleccionaron los datos horarios correspondientes a días de cielo claro según el criterio propuesto por Remund *et al.* (2003). Se tomaron como valores horarios de cielo claro aquellos que satisfagan las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} B_n &\geq 200 \text{ W/m}^2 \\ k_t' &> 0.7 \\ K_t &\geq 0.4 \\ \gamma_s &\geq 10^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

siendo B_n la irradiación solar normal directa, γ_s la altura solar, K_t el índice de claridad diario y k_t' el índice de claridad horario corregido por el ángulo solar (Pedrós *et al.*, 1999):

$$k_t' = \frac{k_t}{\left[1.03 \exp^{-1.4/(0.9+9.4/m)} + 0.1 \right]} \quad (3)$$

donde m es la aeromasa óptica relativa definida en el modelo de cielo claro (Remund *et al.*, 2003):

$$m(\gamma_s) = \frac{(p/p_0)}{\left[\exp(\gamma_s + 0.50572(57.29578\gamma_s + 6.07993)^{-1.6364}) \right]} \quad (4)$$

y el cociente de presiones p/p_0 se define en función de la altura del lugar z :

$$p/p_0 = \exp[-z/8435.2] \quad (5)$$

Exigiendo adicionalmente que el día tenga un número mayor a 40% de horas de cielo claro.

3. MODELOS PARAMETRIZADOS DE CIELO CLARO.

$$\tau_o = 1 - [0.1611 U_3 (1.0 + 139.48 U_3)^{-0.3035} - 0.002715 U_3 (1.0 + 0.044 U_3 + 0.0003 U_3^2)^{-1}] \quad (12)$$

En el modelo de cielo claro europeo (ESRA) se define la componente directa sobre plano horizontal en día de cielo claro de la siguiente manera (Remund et al., 2003):

donde

$$U_3 = l m_r \quad (13)$$

$$B_c = \varepsilon I_{CS} \sin \gamma_s \exp[-0.8662 T_L(M2) m \delta_R(m)] \quad (6)$$

y l es la columna total de ozono expresada en cm.

donde B_c es la irradiación solar directa de cielo claro, proyectada sobre un plano horizontal, ε la corrección a la distancia media Sol-Tierra, I_{CS} la constante solar (1367 W/m^2), $T_L (M2)$ el llamado índice de turbidez de Linke para una aeromasa igual a 2 y $\delta_R(m)$ el espesor óptico integrado de Rayleigh definido en función de la aeromasa m .

La transmitancia por gases uniformemente mezclados, τ_g , básicamente O_2 y CO_2 , es:

$$\tau_g = \exp[-0.0127 m_a^{0.26}] \quad (14)$$

Para la transmitancia por vapor de agua, τ_w , se utiliza:

$$\tau_w = 1 - 2.4959 U_1 [(1.0 + 79.034 U_1)^{0.6828} + 6.385 U_1]^{-1} \quad (15)$$

Por lo tanto, a partir de (6), se podrá determinar $T_L (M2)$:

$$T_L(M2) = \ln[B_{nc} / (\varepsilon I_{CS})] / [-0.8662 m \delta_R(m)] \quad (7)$$

donde

$$U_1 = w m_r \quad (16)$$

donde B_{nc} son los valores horarios de irradiación solar normal directa de día claro, que satisfacen las condiciones (2), y la aeromasa m está definida según (4) para el punto medio de cada hora.

y w es el contenido de agua precipitable, definido como (Leckner, 1978):

$$w = 0.493 (\Phi_r / T) \exp[26.23 - 5416 / T] \quad (17)$$

Louche *et al.* (1987) basándose en el modelo parametrizado de cielo claro de Bird and Hulstrom (1981), presentado en Iqbal (1983) como modelo C, expresan la irradiación solar normal directa como

con T , temperatura ambiente, en grados Kelvin y Φ_r , humedad relativa, en fracciones de uno.

$$B_{nc} = 0.9751 \varepsilon I_{CS} \tau_r \tau_o \tau_g \tau_w \tau_a \quad (8)$$

Finalmente la transmitancia debida a la presencia de aerosoles según Mächler (citado por Iqbal, 1983) es:

$$\tau_a = (0.12445 \alpha - 0.0162) + (1.003 - 0.125 \alpha) \exp[-\beta m_a (1.089 \alpha + 0.5123)] \quad (18)$$

La transmitancia por dispersión de Rayleigh, τ_r , se define de la siguiente manera:

Combinando (8) y (18) se obtiene para β la siguiente expresión:

$$\tau_r = \exp[-0.0903 m_a^{0.84} (1.0 + m_a - m_a^{1.01})] \quad (9)$$

con m_a , la aeromasa óptica relativa modificada por la presión local, igual a:

$$\beta = 1 / (m_a D) \ln[C / (A - B')] \quad (19)$$

donde

$$m_a = m_r (p/p_0) \quad (10)$$

$$A = B_{nc} / (0.9751 \varepsilon I_{CS} \tau_r \tau_o \tau_g \tau_w) \quad (20)$$

siendo m_r la aeromasa en condiciones standard,

$$B' = 0.12445 \alpha - 0.0162 \quad (21)$$

$$m_r = [\cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1} \quad (11)$$

$$C = 1.003 - 0.125 \alpha \quad (22)$$

donde θ_z es ángulo cenital.

$$y D = 1.089 \alpha + 0.5123 \quad (23)$$

La transmitancia debida al ozono, τ_o :

4. RESULTADOS Y COMENTARIOS

Mediante (7) se obtienen valores horarios de $T_L(M2)$. Se testea si existen saltos significativos entre dos valores consecutivos. Siguiendo la recomendación propuesta en Remund et al. (2003), si un valor es mayor en 0.5 unidades al anterior se descarta. Por otro lado, todos los valores horarios que superen en una unidad la mediana diaria también son descartados. En la Tabla 1 se consignan: los valores mensuales máximos y mínimos, las medias mensuales y los desvíos standard de $T_L(M2)$ obtenidos para los distintos meses del año, así como el número de casos considerado.

Luego para las mismas horas, a partir de la expresión (19), con un valor fijo de α igual a 1.3, se determinan los valores horarios del índice de turbidez de Ångström, β . En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1. Valores máximos, mínimos, medias mensuales y desvíos standard de $T_L(M2)$ obtenidos para la ciudad de San Luis.

mes	máx.	mín.	medias	desvío stand.	nº de casos
enero	5.9	2.7	3.8	0.6	566
febrero	6.1	2.8	3.8	0.5	498
marzo	5.6	2.5	3.7	0.5	386
abril	4.5	2.4	3.2	0.4	343
mayo	4.7	2.4	3.0	0.3	183
junio	4.9	2.2	3.1	0.5	266
julio	5.6	2.2	3.2	0.5	283
agosto	6.1	2.4	3.3	0.7	285
sept.	7.2	2.3	3.6	0.7	299
octubre	6.0	2.5	3.8	0.6	358
nov.	6.4	2.4	3.7	0.6	477
dic.	6.0	2.6	3.8	0.6	733

De las Tablas 1 y 2 se puede inferir que los valores medios mensuales de β se determinan con desvíos standard relativos mucho mayores a los asociados a los valores medios de $T_L(M2)$. A lo largo de un mes, a mismos ángulos de incidencia, los valores de β variarían fundamentalmente al variar el contenido de agua precipitable w , ya que la variabilidad mensual de los valores diarios de columna total de ozono no supera para todo el período estudiado el 2.5%. En nuestro caso, al estimar w mediante (17), se emplearon datos horarios de temperatura y medias diarias de humedad relativa.

A modo ejemplo de cómo utilizar medias diarias de humedad relativa puede incidir en la determinación de valores horarios de β , en la Figura 1 se muestra la evolución de valores estimados de β en un día particular de cielo claro, el 15/1/2001, para distintos valores de humedad relativa expresados en fracciones de uno. Se encuentran variaciones de hasta un 25%.

Tabla 2. Valores máximos, mínimos, medias mensuales y desvíos standard de β obtenidos para la ciudad de San Luis

mes	máx.	mín.	medias	desvío standard
enero	0.19	0.007	0.06	0.03
febrero	0.17	0.010	0.06	0.02
marzo	0.15	0.003	0.05	0.02
abril	0.10	0.004	0.03	0.02
mayo	0.11	0.011	0.03	0.01
junio	0.13	0.006	0.04	0.02
julio	0.18	0.003	0.05	0.03
agosto	0.20	0.012	0.05	0.03
sept.	0.26	0.005	0.06	0.04
octubre	0.19	0.016	0.06	0.03
nov.	0.21	0.006	0.06	0.03
dic.	0.19	0.008	0.06	0.03

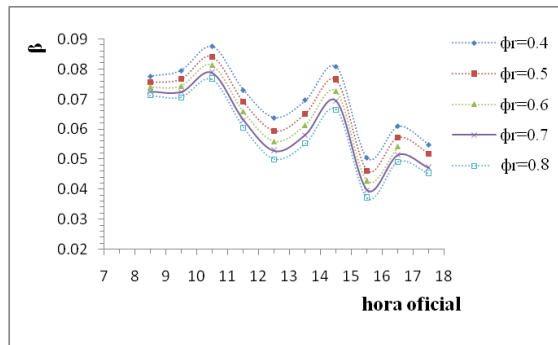


Fig. 1. Evolución del índice β para distintos valores de humedad relativa, Φ_r , expresada en fracciones de uno, para el día 15/1/2001.

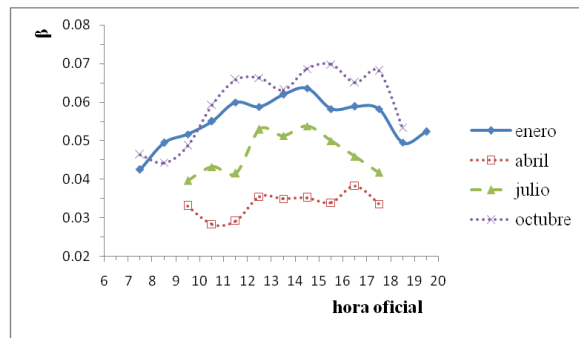


Fig. 2: Valores horarios medios mensuales de β para los meses de enero, abril, julio y octubre.

En la Figura 2 se describen los valores horarios medios mensuales estimados de β para los meses de enero, abril, julio y octubre; encontrándose, a excepción de abril donde los valores horarios medios no varían significativamente a lo largo del día, valores máximos al mediodía y mínimos para ángulos mayores de incidencia.

Los valores medios mensuales hallados de $T_L(M2)$ y β siguen una evolución similar a lo largo del año, como se consigna en la Figura 3. Se observa una variación intermensual, con valores máximos en verano (de octubre a febrero) y mínimos en los meses de abril a junio.

Analizando el conjunto de valores horarios de $T_L(M2)$ y β estimados para todo el período estudiado se pudo obtener, con un $R^2=0.85$, la siguiente correlación entre los mismos:

$$\beta = -0.097 + 0.042 T_L(M2) \quad (24)$$

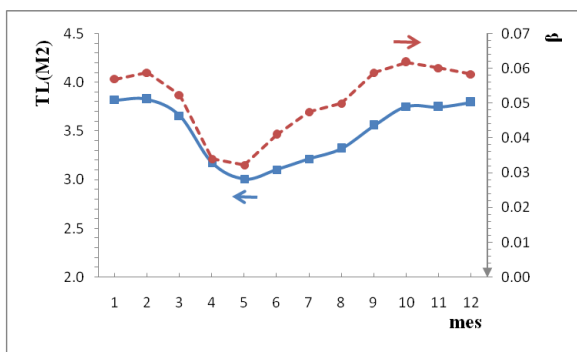


Fig. 3. Valores medios mensuales de $T_L(M2)$ y β para la ciudad de San Luis.

Por último se comparan valores medios mensuales de $T_L(M2)$ estimados en este trabajo con valores para San Luis que se publican en cartas mundiales del parámetro disponibles en la página del proyecto SoDa, <http://www.soda-is.com>. Estas cartas mundiales fueron generadas utilizando el mismo modelo de cielo claro europeo (Remund *et al.*, 2003). Se fusionó una grilla base de valores de $T_L(M2)$ estimados a partir de datos diarios medios mensuales de irradiación global de cielo claro de origen satelital con valores estimados a partir de información específica de distintas localidades.

Como información local se utilizaron datos de tierra de irradiación directa horaria e irradiación global diaria, seleccionando los casos correspondientes a días claros con un criterio basado en el índice de claridad. A su vez se consideraron datos satelitales de contenido de vapor de agua y espesor óptico de aerosoles publicados para las estaciones de la red AERONET. Al evaluar los valores finales de $T_L(M2)$ obtenidos para todo el mundo se encontraron errores cuadráticos medios absolutos para los distintos meses que varían entre 0,63 y 0,89. Con respecto a nuestro país sólo se utilizó información de las estaciones Córdoba-CETT y Buenos Aires-Ceilap pertenecientes a la red AERONET.

En la Tabla 3 se muestran los valores medios mensuales de $T_L(M2)$ estimados en este trabajo con los publicados por el proyecto SoDa para la ciudad de San Luis. Al compararlos se halló un desvío cuadrático medio absoluto y un sesgo medio absoluto de 0.6 y 0.57 respectivamente, siendo en todos los meses del año menores los valores publicados por el proyecto SoDa.

Tabla 3. Valores medios mensuales de $T_L(M2)$ estimados en este trabajo y publicados por el proyecto SoDa para la ciudad de San Luis.

mes	presente trabajo	SoDa
enero	3.8	3.4
febrero	3.8	3.1
marzo	3.7	2.9
abril	3.2	2.7
mayo	3.0	2.6
junio	3.1	2.9
julio	3.2	2.5
agosto	3.3	2.8
septiembre	3.6	3.1
octubre	3.8	3.1
noviembre	3.7	2.9
diciembre	3.8	3.1

5. CONCLUSIONES

Se estudió la turbidez atmosférica en la ciudad de San Luis determinando valores medios mensuales de los índices de turbidez de Linke para una aeromasa igual a 2, $T_L(M2)$, y de Ångström, β . Se encontró una buena correspondencia entre ambos, con valores máximos para los meses de octubre a febrero y mínimos de abril a junio acordes con la variación estacional observada en distintas regiones del mundo (Leckner, 1978). Cuando se analizó el conjunto total de valores horarios estimados se halló una correlación lineal, con un $R^2 = 0.85$, que permite obtener β en función de $T_L(M2)$. Los valores medios mensuales de β están determinados con desvíos standard relativos mayores a los de $T_L(M2)$, variando entre un valor mínimo de 38.8% (febrero) y un máximo de 65.2% (agosto), mientras que para $T_L(M2)$, varían entre 10.2% (mayo) y 20.1% (agosto). Esto se debe a la fuerte dependencia de β respecto al contenido de agua precipitable, w . Este ha sido estimado con medias diarias de humedad relativa. Al estimar los valores horarios medios mensuales para distintos meses, se observa valores máximos al mediodía y mínimos para ángulos mayores de incidencia. Por último se compararon valores medios mensuales de $T_L(M2)$ estimados en este trabajo con valores que se publican para San Luis en cartas mundiales del parámetro por el proyecto SoDa, encontrándose un desvío medio relativo entre los mismos igual a 17.1%, consistente con lo hallado en otras localidades del mundo (Remund *et al.*, 2003), con una subestimación del parámetro por parte de los valores publicados por el proyecto Soda en todos los meses del año.

REFERENCIAS

Bird R., Hulstrom R. (1981) A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surfaces. SERI/TR, 642-761. Golden, CO: Solar Energy Research Institute.

- Cañada J., Pinazo J. M., Bosca J.V. (1993) Determination of Ångström's turbidity coefficient at Valencia. *Renewable Energy* 3, 6/7, pp. 621-626.
- Grossi Gallegos (2002) Notas sobre radiación solar. Publicado por el Departamento de Ciencias Básicas de la UNLu, 225 páginas (ISBN 987-9285-19-0), Registro de la Propiedad Intelectual No. 213724 del 26 de septiembre de 2002.
- Gueymard C. and Garrison J. (1998) critical evaluation of precipitable water and atmospheric turbidity in Canada using measured hourly solar irradiance. *Solar Energy* 62, 4, pp. 291-307.
- Hussain M., Salma Khatun, Rasul M.G. (2000) Determination of atmospheric turbidity in Bangladesh. *Renewable Energy*, 20, pp. 325–332.
- Iqbal M. (1983) An Introduction to Solar Radiation. Academic Press. New York.
- Kasten F. (1996). The Linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness. *Solar Energy* 56, 3, pp. 239-244.
- Leckner, B. (1978) The spectral distribution of solar radiation at the Earth's surface—Elements of a model. *Sol. Energy*, 20, 143–150.
- Li D.H.W., Lam J. C. (2002) A study of atmospheric turbidity for Hong Kong. *Renewable Energy*, 25, pp. 1–13.
- Louche A., Maurel M., Simonnot G., Peri G. and Iqbal M. (1987) Determination of Ångström's turbidity coefficient from direct total solar irradiance measurements. *Solar Energy* 38, pp. 89–96.
- Maxwell G., Wilcox S., Rymes M. (1993) Users Manual for SERI QC Software. Assessing the Quality of Solar Radiation Data. Publicado por NREL- National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA.
- Pedros R., Utrillas P., Martinez Lozano J. A., Tena F. (1999). Values of broad band turbidity coefficients in a mediterranean coastal site. *Solar Energy* 66, 1, pp. 11-20.
- Pinazo J. M., Cañada J. and Bosca J.V. (1995) A new method to determine Angstrom turbidity coefficient: its application for Valencia. *Solar Energy* 54, pp. 219–226.
- Remund J., Wald L., Lefèvre M., Ranchin T., Page J. (2003). Worldwide Linke turbidity information. En Proceedings of ISES Solar World Forum Congress, 16-19 June 2003, Göteborg, Sweden. Disponible en <http://www.helioclim.net/publication/ises2003>.
- Rigollier C., Bauer O., Wald L. (2000). On the clear sky model of the ESRA-European Solar Radiation Atlas with respect to the Heliosat method. *Solar Energy* 68, 1, pp. 33-48.