

## SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL.

Daniel Hoyos,<sup>1</sup> Carlos Cadena, Héctor Suarez  
INENCO: Instituto Nacional de Energía No Convencionales  
C.I.U.N.Sa: Consejo de Investigación U.N.Sa  
Buenos Aires 177, Salta (4400), Argentina  
Fax: 54-387-4255489, Email: hoyosd@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Se presenta un sistema de medida que permite introducirse en el testeo y análisis de modelos de estimación de radiación solar por satélite. Con el objetivo de tener referencia en tierra se toman datos de radiación solar utilizando un sistema compuesto por una computadora, un solarímetro y un adquisidor del tipo NUDAM. El equipo se encuentra conectado a una red de computadoras y se puede controlar en forma remota. Se desarrolló un programa que permite georeferenciar imágenes satelitales, las mismas se pueden obtener por INTERNET. Finalmente se puso a punto un programa que realiza la estimación de la radiación utilizando el modelo GL1.0.

**Palabras clave:** medición, radiación, datos, satélite

### INTRODUCCIÓN

La estimación de la radiación solar usando imágenes satelitales es un tema sumamente interesante y acerca del cual se dispone de amplia bibliografía sobre los distintos métodos usados. Existen dos tipos de modelos: estadísticos y físicos. Los métodos estadísticos están basados en regresiones entre la medida obtenida por el radiómetro del satélite y la medida de un piranómetro, el cual está midiendo en simultáneo con el satélite (M. Noia et al, 1993). Los métodos físicos se basan en modelos de transferencia radiativa, que describen explícitamente los procesos de absorción y dispersión, que operan en el sistema tierra-atmósfera (M. Noia et al, 1993).

Se presenta un sistema que permite obtener la irradiancia de suelo utilizando el modelo de estimación de radiación GL1.0 desarrollado en el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil (Bastos et al, 1996) y funciona operacionalmente en CPTEC-INPE. Una descripción del método se encuentra en M. J. Bottino, 2000. La calibración de la imagen del satélite se encuentra descrita en Weinreb M, 1999. Un acercamiento a otros modelos de estimación de la radiación se puede obtener de (M. Noia et al, 1993). Para georeferenciar las imágenes satelitales se pueden recurrir a *Earth Location User Guide*.

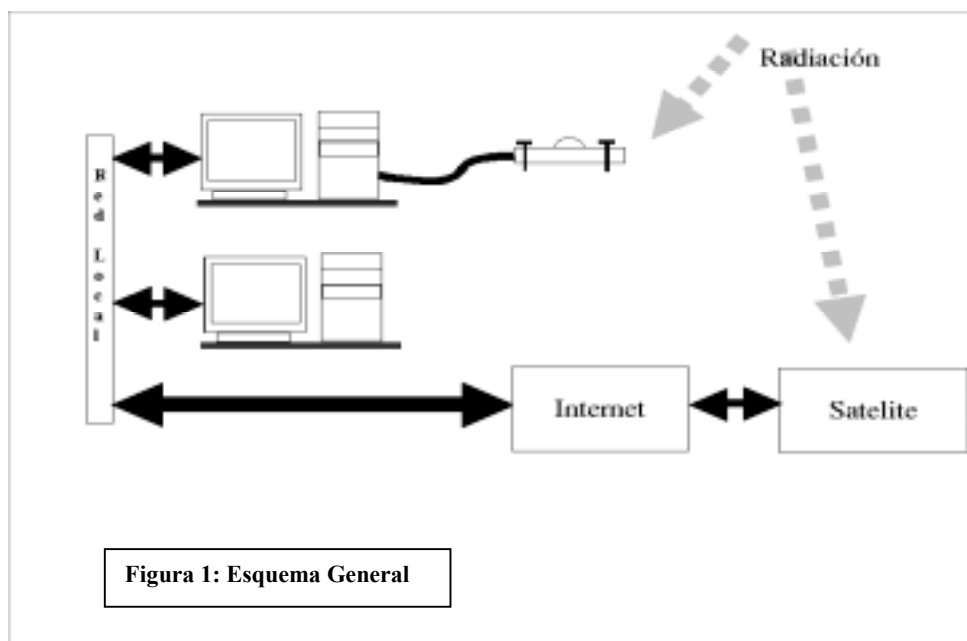


Figura 1: Esquema General

<sup>1</sup>P.Principal CONICET

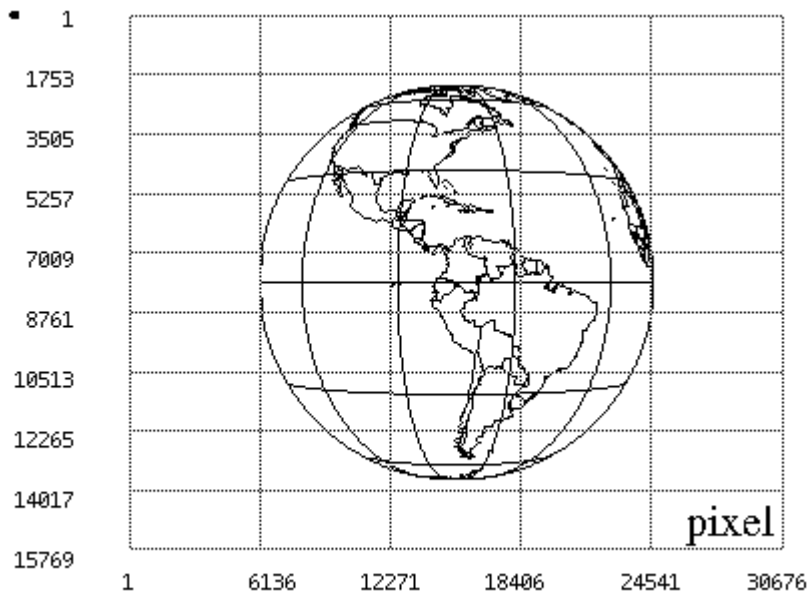
## SISTEMA SATELITAL

El GOES 8 es un satélite que se encuentra en una órbita geoestacionaria a 35790 Km. sobre el plano del ecuador en la longitud 75 ° oeste. El mismo posee sensores de radiación y la respuesta de estos se encuentran en cinco bandas espectrales que van desde el visible al infrarrojo, como se muestra en la tabla 1, donde también se observa su resolución.

Canal	Resolución	Intervalo Espectral (µm)
1	1x1 Km	0.55-.75
2	4x4 Km	3.80-4.00
3	4x8 Km	6.50-7.00
4	4x4 Km	10.2-11.2
5	4x4 Km	11.5-12.5

**Tabla 1: Características de los canales del GOES**

El satélite toma una imagen cada 15 minutos en un formato de 10 bits. Esta imagen es enviada a tierra, georeferenciada y transmitida hacia los usuarios en un formato denominado GVAR. La información es codificada en entero de dos bytes. Para acceder a este servicio se debe disponer de un equipo de recepción de señales satelitales. En la figura 2 se observa el sistema de coordenadas línea- pixel utilizado en el GOES.



**Figura 2: Sistema de coordenadas línea-pixel de GOES a 75 W.**

Las fotos satelitales, archivos de calibración y archivos de georeferenciación se pueden obtener por Internet en la dirección [rsd.gsfc.nasa.gov/argentina/vis](http://rsd.gsfc.nasa.gov/argentina/vis). En este lugar se dispone de archivos en formato TIF de imágenes GOES de la Argentina. En el nombre de estos archivos se encuentra el día, la hora, el satélite y el canal con el que fue tomada. Las características de la información contenida en los archivos se muestran en la tabla 2

<b>Resolución</b>	<b>1000x600</b>
<b>Escala en x</b>	<b>0.14</b>
<b>Escala en y</b>	<b>0.25</b>
<b>Pixeles</b>	<b>14171-21170</b>
<b>Líneas</b>	<b>10138-12537</b>
<b>Num Bits</b>	<b>8</b>

**Tabla 2: características de los archivos de imágenes**

Analizando las mismas se encuentra que el área mínima que se puede discriminar es de 5x4 Km, y se pierden 2 bits de resolución. Para georeferenciar la imagen se utiliza un archivo suministrado por la NASA, denominado GOES.NAV. En él se encuentran las coordenadas latitud y longitud de cada punto de la imagen en formato binario. Este archivo presenta un error en la determinación de la latitud que debe ser corregido por un programa.

### PROGRAMA SAT3

Se desarrolló el programa SAT3, que permite procesar las imágenes transmitidas por el satélite GOES. El mismo las georeferencia y permite modificarlas. Se realizó en el idioma de script TCL-TK, por medio de un utilitario denominado VTCL, que permite realizar programación gráfica y tiene la característica de ser multiplataforma, lo que posibilita su uso en MICROSOFT WINDOWS y LINUX. Sin embargo, este sistema fue completamente desarrollado sobre LINUX por lo óptimo de su capacidad para trabajar en red.

El sistema tiene la capacidad de seleccionar un pixel de la imagen con el ratón de la computadora, y obtener su latitud, longitud y color del punto. También permite dada la latitud y longitud de un punto, determinar su posición en pixeles en la imagen y el color del mismo.

Los procesamientos que puede realizar el programa sobre la imagen son:

- ◆ Procesamiento de punto: realiza operaciones de inversión de color, discreteado e interpolación de una función lineal.
- ◆ Procesamiento por Ventana: realiza operaciones de filtro pasabajo, sobel, sharpen y blur.
- ◆ Procesamiento por Operaciones aritméticas y lógicas: suma, resta, AND, OR, XOR.
- ◆ Procesamiento Estadístico: calcula valores medio, eficaz, máximo, mínimo; dibuja histogramas.

En la figura 3 se observa una imagen procesada por el programa SAT3, en la cual se invirtió el color y se le agregó un mapa de Argentina.



Figura 3: Imagen Procesada por SAT3

### CALCULO DEL FACTOR DE REFLECTANCIA

La imagen enviada por GOES es una cuenta (un número entre 0 y 1023) y no está calibrada. Los coeficientes de calibración son transmitidos al usuario en el formato GVAR y permiten convertir este dato en radiancia de acuerdo a la formula:

$$R=m .X+b \quad (1)$$

En donde R es la radiancia, X es la cuenta, m y b son coeficientes de calibraciones. La reflectividad (A) se obtiene multiplicando la radiancia por un coeficiente K.

$$A=K.R \quad (2)$$

Cada sensor tiene coeficientes  $m$  y  $b$  distintos, pero la imagen suministrada está normalizada de forma que todos los sensores están referidos a un pixel determinado. Por lo tanto se debe afectar a la imagen con los coeficientes de ese pixel solamente.

La imagen recibida por Internet está codificada en un formato de 8 bits, por esta razón se debe multiplicar la cuenta por cuatro para obtener el valor requerido.

### CALCULO DE LA IRRADIANCIA UTILIZANDO EL MODELO GL1.0

En la figura 4 se muestra una representación esquemática del sistema tierra-atmósfera. Un balance simple de energía solar en el mismo conduce a la ecuación:

$$\mu_0 S_0 = E_r + E_a + (1 - R_g) \cdot E_g \quad (3)$$

En donde  $\mu_0$  es el coseno del ángulo de incidencia,  $S_0$  es la radiación extraterrestre,  $R_g$  representa la reflectancia de tierra,  $E_a$  indica radiación absorbida por la atmósfera,  $E_g$  es la radiación que llega a tierra y  $E_r$  simboliza la radiación reflejada por la atmósfera.

El modelo GL1.0, que fue realizado en el INPE y funciona operacionalmente en CPTEC-INPE, fue desarrollado especialmente para GOES. Supone que la radiación tiene una componente visible y otra infrarroja.

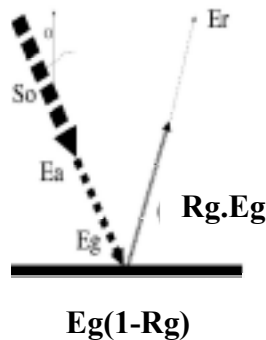


Figura 4: Esquema de balance de energía en el sistema tierra-atmósfera

Para la radiación visible se realizan las siguientes consideraciones:

- No hay absorción por ozono ni por vapor de agua
- Las nubes no son absorbentes ni acumuladoras.

Por lo tanto en el intervalo visible se supone que no hay radiación absorbida por la atmósfera y la expresión de la irradiancia de tierra responde a la siguiente ecuación:

$$E_{gvis} = \mu_0 S_0 (1 - R_{pvis}) / (1 - R_{gvis}) \quad (4)$$

En donde  $R_{pvis}$  es la reflectancia planetaria en el intervalo visible y  $R_{gvis}$  es la reflectancia de tierra en el rango visible que se estima con la ecuación (5): en donde  $R_{ad}$  tiene un valor de 0.065 y  $\alpha$  es la reflectancia debida a todos los rayos directos reflejados por la atmósfera.

$$R_{gvis} = (R_{pvis} - \alpha) / (1 - \alpha)(1 - R_{ad}) \quad (5)$$

Para la radiación infrarroja (IVP) las nubes desempeñan el papel más importante en el efecto de absorción radiativa atmosférica. En ausencia de nubes, el flujo solar es atenuado en la atmósfera por el vapor de agua y el dióxido de carbono, entonces la expresión de la radiación infrarroja que llega a tierra será:

$$E_{gIVP} = E_{g0IVP} / (1 - C \cdot R_{gIVP} \cdot R_{cIVP}) \quad (6)$$

Donde  $E_{g0IVP}$  es la radiación,  $R_{gIVP}$  es la reflectancia de la tierra y  $R_{cIVP}$  es la reflectancia de las nubes, todos en el rango infrarrojo. El  $E_{g0IVP}$  se calcula con las ecuaciones (7) y (8):

$$E_{gOIVP} = \mu_0(S_{IVP} - \Delta S) \quad (7)$$

$$\Delta S = 133 + 92 \log_{10} w^* + 2.1 w^* \quad (8)$$

$$w^* = w / \mu_0$$

En donde  $w$  es el agua precipitable,  $\Delta S$  la atenuación de radiación en el intervalo IVP debida al vapor de agua; se estima  $R_{gIVP} = 0.4$  y  $R_{cIVP} = 0.4$ .

### PROGRAMACIÓN DEL MÉTODO

El programa permite realizar la estimación de la radiación utilizando el método GL10, y con este fin se debe realizar distintos cálculos que en general son comunes a todos los métodos de estimación de la radiación.

Al programa se ingresa el día del año a través de una ventana que contiene un almanaque, y con este valor calcula  $S_0$  y  $\mu_0$ . El dato obtenido por la imagen satelital es multiplicado por cuatro y luego aplicado a la ecuación (1) para obtener así la reflectividad global. Se calcula la irradiancia visible con la ecuación (4) y la infrarroja con la ecuación (6).

Figura 5: Programa de estimación de radiación

### SISTEMA DE TOMA DE DATOS

Para poder analizar los distintos métodos de estimación de la radiación, se debe disponer de una red de sistemas de medida, que opere en forma automática y que envíe la información recibida a una computadora central. En (Hoyosd, et al, 1994) se presentó un sistema de medida que permitía controlar en forma remota una computadora. Debido a la diversidad de hardware que se cuenta, los distintos medios de transporte de esa información disponible y los avances tecnológicos en redes, este sistema debía ser modificado. Se decidió que el sistema funcione sobre una red TCP/IP.

El sistema de toma de datos está formado por: una computadora, un solarímetro y un adquisidor de datos NUDAM. El programa de toma de datos no tiene demasiadas variantes con respecto a otros del mismo tipo. Pero, se debe destacar su forma de operación. El programa continuamente lee un archivo de configuración en el cual se encuentran las acciones que debe realizar: tiempo entre toma de datos, archivo donde se deben guardar los datos, hora de comienzo de toma de datos, hora de fin de toma de datos. También existe el archivo de calibración, donde se encuentra las constantes de calibración de los sensores instalados. Este programa está colocado de forma tal que cuando se enciende la computadora, inmediatamente comienza a funcionar. A la medianoche el programa abre el archivo de configuración y cambia el nombre del archivo donde se están guardando los datos. El formato del nombre de archivo es el siguiente:

$uvgmmdd.dat$	donde mm es el mes dd es el día
---------------	------------------------------------

También agrega este nombre a un archivo denominado *nom\_archi.dat*, donde se encuentra la lista de los archivos creados anteriormente. El programa cada vez que realiza una medida abre el archivo de datos, agrega el dato medido y cierra el

archivo.

El sistema remoto utiliza el servicio FTP disponible en redes TCP/IP. Actúa de la siguiente forma: lee en el archivo **nom\_archi.dat** el nombre del archivo que quiere analizar y con la instrucción **get** traslada este archivo a través de la red a la computadora de control. Para cambiar el modo de funcionamiento de la computadora sobrescribe al archivo de configuración.

En este momento se está desarrollando un programa basado en la programación de socket que permitiría optimizar la transferencia de información a través de la red.

## CONCLUSIONES

Se puso a punto un sistema que permite estimar la radiación usando el modelo GL1.0, a partir de imágenes satelitales de GOES 8. Con este fin se construyeron dos programas denominados **sat3** y **mg01** encargados de georeferenciar la imagen, calibrar la información recibida en reflectividad y realizar la estimación de la radiación.

También se diseñó y armó un sistema de adquisición de datos de radiación que funciona en forma automática y se puede conectar a una red TOP/PI para controlar la medida en forma remota.

Determinar la radiación a partir de imágenes disponibles en Internet, nos entregaría una información mucho más densa que la que actualmente tenemos.

## REFERENCIAS

1. Bastos E. J. B., B. M. Funatsu, A. Bonfim, E. C. Ceballos (1996). *Estimativa da radiacao solar global para a America do Sul via satélite*. IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Pelotas-RS.
2. Weinreb, M and Dejiang Han (1999). *Calibration of the visible Channels of the GOES Imager and Sounder*.
3. Bottino, M.J (2000). *"Um modelo de estimativa de radiacao solar por satellite Analise e aprimoramentos"*. Tesis de Maestría.
4. Hoyos, D Condori, M Echazú *R Adquisición y transmisión de datos desde terminales remotas. Aplicación a un invernadero Secadero* Actas de Asades

**ABSTRACT:** The use of satellite data to estimate solar irradiance at ground level, represents a valid alternative to ground measurement of solar radiation. In this work we made a program for calculating solar irradiance at the earth surface using geostationary satellite data, with GL10 model. Besides we made a data acquisition system, to verify the method with him.