



APLICACIÓN DEL RANGO DIURNO rB DEL CAMPO GEOMAGNETICO REGISTRADO EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO PARA ESTIMAR LOS PARAMETROS DE ACTIVIDAD SOLAR R_z , F10.7 cm, Y EUV

Domingo Rosales^{1*}, Erick Vidal¹

¹ Observatorio Geomagnético de Huancayo – Instituto Geofísico del Perú, Huancayo, Perú.

*e-mail: domingo.igp@gmail.com.

ABSTRACT

The magnitude rB (nT) is defined to estimate solar radiation parameters such as: the number of sunspots R_z , solar flux density at the wavelength of 10.7 cm F10.7, and solar EUV extreme ultraviolet radiation ranges 26-34 and 0.1-50nm. Two regression fitting methods are employed: the first a linear fit and the second a Multivariate Adaptive Regression Spline MARS, with them high correlation ratio is obtained. This shows that from geomagnetic data recorded at the Observatory of Huancayo, the parameters of solar radiation can be estimated with great precision.

Keywords: Diurnal variation, Solar activity, Geomagnetism, Space weather.

RESUMEN

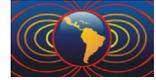
Se define la magnitud rB (nT) para estimar los parámetros de radiación solar como son: el número de manchas solares R_z , la densidad de flujo solar en la longitud de onda de 10.7 cm F10.7, y la radiación solar ultravioleta extrema EUV en los rangos de 26-34 y 0.1-50nm. Se emplean dos métodos de ajuste por regresión: el primero mediante un ajuste lineal y el segundo mediante Regresión Multivariada Adaptativa Spline MARS, con lo que se obtiene un alto índice de correlación. Esto muestra que a partir de los datos geomagnéticos registrados en el observatorio de Huancayo, es posible estimar los parámetros de radiación solar con un alto nivel de precisión.

Palabras Clave: Variación diurna, Actividad solar, Geomagnetismo, Clima espacial.

Introducción

Los ciclos de actividad solar y su actividad magnética asociada, son las principales fuentes que producen perturbaciones y cambios en el medio interplanetario, en la atmósfera superior de la Tierra, en el campo magnético de la Tierra, y consecuentemente en el clima terrestre. La evolución de la actividad solar es un fenómeno propio del Sol y podemos entenderlo y explicarlo mediante parámetros que se registran con instrumentos desde la Tierra o sus proximidades (satélites), y uno de estos instrumentos que registra la actividad solar son los magnetómetros.

El efecto de la actividad solar en la Tierra fue observado y descrito inicialmente por Edward Sabine (1788-1883) quien descubrió que el ciclo de actividad solar era idéntico al ciclo de actividad magnética de la Tierra, posteriormente fue confirmado por Rudolf Wolf (1816-1893) y otros como Alfred Gauthier (1793-1881) y Johann von Lamont (1805-1879). Uno de los primeros parámetros de registro de la actividad solar fueron el número de manchas solares, codificadas mediante los números de Wolf (R_w) (hoy denominado números de manchas solares de Zúrich R_z). Wolf encontró una relación lineal entre el rango diurno de la declinación magnética y los números de Wolf ($rD = a + bR_w$); en aquel entonces él consideró que era “una de las relaciones mas importantes entre la acción del Sol todavía por descubrir”, y en sus informes anuales



sobre el número de manchas solares siempre correlacionaba con rD a efecto de validar sus registros de manchas solares (Svalgaard, 2007).

Datos

Para el presente trabajo se han utilizado los datos promedios horarios del campo geomagnético, registrados en el observatorio de Huancayo desde el año 1998.0 al 2015.0, tomándose en total 447048 datos para su análisis. Así mismo para la misma fecha se ha tomado el promedio anual del número de manchas solares de Zurich (Rz) (17 datos), el promedio anual de la densidad de flujo solar en la longitud de onda de 10.7 cm (F10.7) que corresponde a la frecuencia de 2800MHz (17 datos) y el promedio anual de la radiación solar ultravioleta extrema (EUV) en los rangos de 26-34 nm y 0.1-50 nm (34 datos).

Análisis

Tomando como referencia los trabajos de Wolf y Svalgaard (2007; 2010; 2015), extendemos este concepto a las tres componentes, por lo que se define como rango diurno rB (nT) a la magnitud vectorial de la amplitud de la variación diurna del campo geomagnético registrado en una estación magnética.

A partir de los datos promedios horarios de las tres componentes se extrae el promedio anual de rB , donde $rB = (rX, rY, rZ)$. Inicialmente se usa un análisis de correlación simple, seguidamente mediante el análisis de Regresión Multivariada Adaptativa Spline (MARS), se correlacionan las magnitudes (rX, rY, rZ), con Rz , F10.7, y EUV en los rangos de 26-34 y 0.1-50 nm.

El método MARS es una forma de análisis de regresión desarrollado por Friedman (1991). Es una técnica de regresión no paramétrica que es una extensión más avanzada de los modelos de regresión lineal, ideal para casos donde exista una no-linealidad o linealidad a trozos. Su algoritmo consiste en ideas de particionamiento recursivo. El procedimiento consiste en particionar el dominio de definición de la función en diferentes regiones, ajustando en cada una de ellas una función tipo “spline”. La ecuación de ajuste por MARS es de la forma:

$$\hat{y}_M(x) = a_0 + \sum_{m=1}^M a_m \left\{ \prod_{l=1}^{L_m} [h_{l,m}(x_{v(l,m)} - k_{l,m})] \right\}$$

donde, M es el número de funciones base linealmente independientes; L_m es el número de divisiones o funciones lineales truncadas multiplicadas en la m -ésima función base; a_m es el coeficiente de la m -ésima función base; $x_{v(l,m)}$ es la variable predictora correspondiente a la l -ésima función lineal truncada en la m -ésima función base; $k_{l,m}$ es el umbral correspondiente a $x_{v(l,m)}$ y $h_{l,m}$; m es +1 ó -1;

$$\left\{ \prod_{l=1}^{L_m} [h_{l,m}(x_{v(l,m)} - k_{l,m})] \right\}$$

es la m -ésima función base; l es el orden de interacciones (si $l = 1$ el modelo es aditivo, si $l = 2$ el modelo es de pares interactivos).

Resultados y discusión

En primera instancia se realiza un análisis de regresión simple de las magnitudes rX, rY, rZ con las magnitudes $Rz, F10.7, EUV 26-34$ y $EUV 0.1-50$, obteniéndose los resultados mostrados en la (Tabla 1).

En primera instancia se registra una buena correlación de las tres magnitudes (rX, rY, rZ) con los cuatro parámetros de radiación solar, donde se observa que los índices de correlación son mayores a $R^2 = 0.7714$. Para el parámetro Rz la mejor correlación es con rX ($R^2 = 0.9455$), seguido por rZ y rY . Sin embargo la mas alta correlación de rX es con F10.7 ($R^2 = 0.9768$). Esto muestra que, mientras Wolf y Svalgaard basados en datos de observatorios geomagnéticos localizados en latitudes altas y medias determinaron que la mejor



Tabla 1. Índice de correlación R^2

	Rz	F10.7 cm	(EUV/10 ¹⁰) (26-34 nm)	(EUV/10 ¹⁰) (0.1-50 nm)
	ssn	sfu	fotones (cm ⁻² s ⁻¹)	Fotones (cm ⁻² s ⁻¹)
rX (nT)	0.9455	0.9768	0.8849	0.8947
rY (nT)	0.7715	0.8010	0.8732	0.8722
rZ (nT)	0.8272	0.8484	0.9232	0.9225

correlación de la actividad solar es con la magnitud rD (ó rY), para el caso del observatorio de Huancayo (localizado en la zona del ecuador magnético) la mejor correlación de Rz y F10.7 es con rX , y de EUV 26-34 y EUV 0.1-50 es con rZ . En los cuatro parámetros de actividad solar estudiados rY ocupa el tercer lugar en la correlación, es decir hay una mejor correlación con las magnitudes rX y rZ .

Tomando en cuenta que el índice de correlación de las tres componentes es muy significativo (Tabla 1), el análisis de regresión MARS es aplicado, asignando como variables predictoras la magnitudes $rB = (rX, rY, rZ)$ y como variable predecible las magnitudes Rz , F10.7, EUV 26-34 y EUV 0.1-50.

Para Rz : La ecuación de ajuste MARS es:

$$Rz = 58.16477 - 1.666255 * h(121.3-rX) + 6.645025 * h(rZ-11.3)$$

Siendo las magnitudes más significativas rX y rZ , la magnitud rY no es considerado. El índice de correlación es $R^2 = 0.9570$ (Fig. 1).

Para F10.7: La ecuación de ajuste MARS es:

$$F10.7 = 117.6474 - 1.430128 * h(121.3-rX) + 1.48765 * h(rX-121.3)$$

Siendo la magnitud más significativa rX , las magnitudes rY y rZ , no son consideradas. El índice de correlación es $R^2 = 0.9770$ (Fig. 2).

Para EUV 26-34 nm: La ecuación de ajuste MARS es:

$$EUV\ 26-34 = 1.59074 - 0.01709152 * h(121.3-rX) + 0.1558798 * h(rZ-11.3)$$

Siendo las magnitudes más importantes rZ y rX , la magnitud rY no es considerado en el ajuste. El índice de correlación es $R^2 = 0.9593$ (Fig. 3).

Para EUV 0.1-50 nm: La ecuación de ajuste MARS es:

$$EUV\ 0.1-50 = 3.136075 - 0.03629794 * h(121.3-rX) + 0.3192019 * h(rZ-11.3)$$

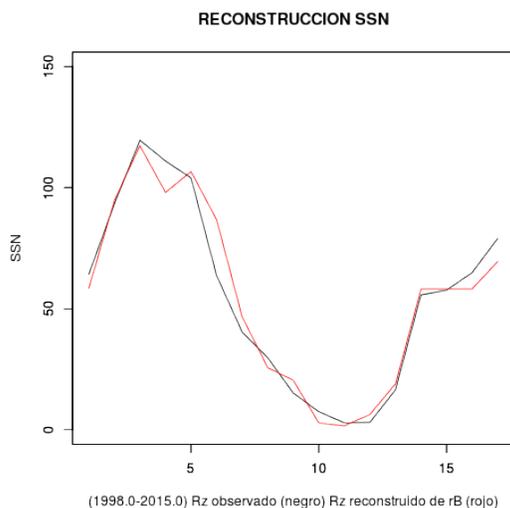


Figura 1. Reconstrucción MARS de SSN

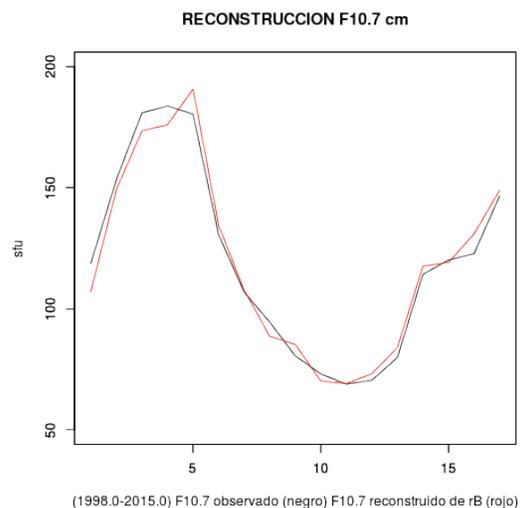


Figura 2. Reconstrucción MARS de F10.7

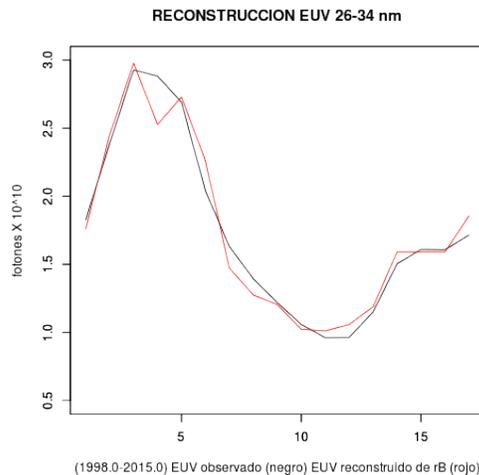


Figura 3. Reconstrucción MARS de EUV 26-34 nm

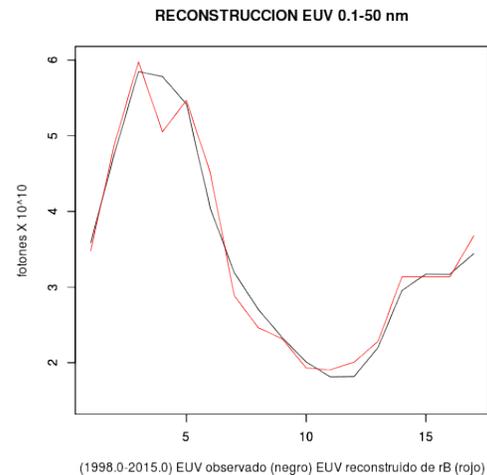


Figura 4. Reconstrucción MARS de EUV 0.1-50 nm

Siendo las magnitudes más importantes rZ y rX , la magnitud rY no es considerado. El índice de correlación es $R^2 = 0.9611$ (Fig. 4).

Los ajustes mediante el método MARS han mejorado la correlación en los índices EUV, en ambos casos la magnitud mas significativa fue rZ , seguido de una menor contribución pero significativa de rX .

Conclusiones

Basados en datos de observatorios geomagnéticos localizados en latitudes altas y medias Wolf y Svalgard determinaron una mejor correlación de los parámetros de actividad solar con rD (o rY), en tanto que si tomamos el observatorio de Huancayo (ecuador magnético) como punto de reducción, del análisis de correlación simple de las magnitudes (rX , rY , rZ) con los cuatro parámetros de actividad solar, se determina que, la mejor correlación de Rz y F10.7 es con rX , y de EUV 26-34 y EUV 0.1-50 es con rZ .

Mediante el método MARS se ha logrado llevar a una mejor correlación en las magnitudes EUV (de $R^2 = 0.9232$ a $R^2 = 0.9593$, y de $R^2 = 0.9225$ a $R^2 = 0.9611$). En cuanto a las magnitudes R_z y F10.7, la mejora en el índice de correlación es de $R^2 = 0.9455$ a $R^2 = 0.9570$ y de $R^2 = 0.9768$ a $R^2 = 0.9770$.

Los altos índices de correlación obtenidos son una clara muestra que a partir de los datos geomagnéticos registrados en Huancayo es posible estimar con un alto nivel de precisión los parámetros de radiación solar Rz , F10.7, EUV 26-34 y EUV 0.1-50. Magnitudes importantes en el clima espacial.

Referencias

- Friedman H., 1991. Multivariate Adaptive Regression Splines. *The Annals of Statistics*, 19, 1, March 1991, 1-67.
- Svalgaard L., 2007. Calibrating the sunspot number using the “magnetic needle”. *CAWSES News* 4 (1), 6-8.
- Svalgaard L., 2010. Updating the Historical Sunspot Record. *Solar and Stellar Astrophysics [astro-ph.SR]*, *arXiv: 1003.4666v1* March 24.
- Svalgaard L., 2015. Reconstruction of Solar Extreme Ultraviolet Flux 1740-2015. *Solar and Stellar Astrophysics [astro-ph.SR]*, *arXiv: 1506.04408v1*, June 14.