

Relación entre las manchas solares y los volúmenes anuales de escurrimiento en presas del noroeste de México

José A. Raynal-Villaseñor
Pedro Guevara-Miranda

Universidad de las Américas, Puebla, México

Nure M. Aiza-Bezares

The Porth Authority of New York & New Jersey, EUA

En esta nota se presenta el análisis estadístico de correlación cruzada entre el número de manchas solares anuales y los volúmenes de entrada a tres presas de almacenamiento ubicadas en el noroeste de México, que concluye la existencia de una relación entre ambas variables aleatorias, una astronómica y la otra hidrológica. El análisis sólo ha funcionado para casos individuales, ya que no se ha logrado establecer una relación entre ambas variables en forma regional.

Palabras clave: manchas solares, correlación cruzada, coeficiente de correlación, volúmenes de escurrimiento anuales, presas de almacenamiento.

Introducción

La influencia de la actividad solar sobre el clima de nuestro planeta es un tema de investigación que interesa cada vez más a un gran número de personas, ya que la preocupación por la situación climática actual y futura de la Tierra ha aumentado considerablemente en los últimos años (Yevjevich, 1963; Rodríguez-Iturbe, 1967; Rodríguez-Iturbe y Yevjevich, 1968; Salas y Smith, 1980b; Christensen y Lassen, 1991; Kerr, 1991; Bras, 2004).

Dicho tema no es nuevo, pues ya desde el siglo XIX se realizaron estudios donde se trataba de relacionar la cantidad de energía solar emitida con algún efecto climático, aunque generalmente se obtenían resultados muy pobres. En aquel entonces no se tenían los suficientes conocimientos científicos ni los modernos avances tecnológicos de hoy día como para poder sustentar lo que parecían suposiciones intuitivas. Sin embargo, estas limitantes no impidieron que los

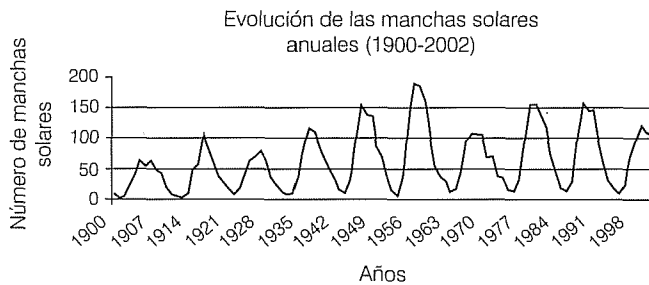
investigadores de esa época pudieran desarrollar observaciones coherentes y con un grado de confiabilidad tal que aún continúan siendo válidas.

Estudios recientes sobre la actividad solar

En nuestros días, los avances tecnológicos han permitido recabar mucha más información acerca del comportamiento del Sol. Ahora se sabe que el ciclo de once años en la variación del número de manchas solares es una manifestación de la oscilación del campo magnético solar (ver ilustración 1).

Para el estudio de la influencia del Sol sobre el clima terrestre, las observaciones de la relación de la variación del ciclo del campo magnético solar con la cantidad de energía irradiada representan un progreso importante. Los datos recogidos por los satélites de observación mostraron que la brillantez del Sol disminuyó en 0.1% entre el pico de la actividad solar en 1981 y el mínimo correspondiente en 1986 (Reid, 1987); es decir, el

Ilustración 1. Variación de las manchas solares en el periodo 1900-2002 (RWC, 2004).



Sol fue más luminoso cuando el número de manchas solares se hizo más grande.

Algunos cálculos desarrollados mediante modelos estiman que en la época actual, el efecto de calentamiento en la Tierra por causa de la variación de energía solar emitida es de 0.1 grados Kelvin. También se ha estimado que durante la Pequeña Era Glacial, la media de la temperatura global debió haber disminuido en 0.5 °C, lo cual implica que la radiación de energía solar tuvo que haber disminuido entre un 0.2 y 0.5% a lo largo de varias decenas de años.

Análisis estadístico de correlación cruzada

Las series de tiempo múltiples o multivariadas son aquellas que se componen por variables aleatorias que son observadas en varios puntos de una línea, un área o un volumen. Cada serie puede ser analizada estadísticamente por separado. Sin embargo, los componentes estocásticos de estas series forman a su vez un conjunto de series interdependientes.

Cuando se generan muestras de series multivariadas no sólo se deben preservar las características estadísticas de cada serie, sino también debe considerarse la dependencia entre las series que forman el sistema.

La dependencia entre dos series de tiempo puede medirse a través del coeficiente de correlación cruzada (Jenkins y Watts, 1968; Yevjevich, 1972; Salas *et al.*, 1980):

$$r_{xy}(k) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y})}{S_x S_y} \quad (1)$$

donde:

$$S_x = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$S_y = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y})^2 \quad (3)$$

Antes de hacer el análisis de correlación cruzada, las variables deben haber pasado por un proceso de normalización que garantice precisamente que ambas variables tienen distribución normal; el proceso elegido de normalización es el de Box-Cox, (Box y Jenkins, 1970):

$$z = \frac{x^T - 1}{T} \quad (4)$$

para $T \neq 0$, o:

$$z = \ln(x) \quad (5)$$

para $T = 0$.

Se selecciona el valor de T que haga que la muestra tenga un coeficiente de asimetría estadísticamente igual a cero.

Después del proceso de normalización, se realizó un proceso de pre-blanqueado de los datos, como sugieren algunos autores (Jenkins y Watts, 1968): "Si se requiere una prueba para un coeficiente de correlación diferente de cero entre dos series, una operación de filtrado debe realizarse en las dos series x_{1t} y x_{2t} para convertirlas en ruido blanco antes de calcular la función de covarianza cruzada". Esto se realizó por medio de las siguientes operaciones:

$$x'_t = x_t - \hat{\alpha}_1 x_{t-1} \quad (6)$$

$$y'_t = y_t - \hat{\alpha}_2 y_{t-1} \quad (7)$$

donde:

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{\sum_{t=2}^n (x_t - \bar{x})(x_{t-1} - \bar{x})}{\sum_{t=2}^n (x_{t-1} - \bar{x})^2} \quad (8)$$

$$\hat{\alpha}_2 = \frac{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y})(y_{t-1} - \bar{y})}{\sum_{t=2}^n (y_{t-1} - \bar{y})^2} \quad (9)$$

Los límites de confianza de la función de correlación cruzada para estas nuevas variables de ruido blanco son (Jenkins y Watts, 1968):

$$LC(\alpha) = r_{xy}(k) \pm \frac{u_{\alpha}}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

donde u_{α} es el valor normal correspondiente al nivel de confianza $(1-\alpha)$.

Análisis de resultados

En este estudio se obtuvieron resultados interesantes en varias de las presas seleccionadas en el noroeste de México, pero en el presente trabajo sólo se presentan los resultados de tres casos. La importancia económica de esta región es muy grande, ahí se localiza una de las zonas agrícolas más importantes de México, la cual cuenta con grandes presas de almacenamiento y distritos de riego. Estas presas de almacenamiento están en un área que se ve afectada frecuentemente por la presencia de huracanes durante el verano-otoño.

Para una muestra de las presas de almacenamiento seleccionadas, las gráficas de los resultados del análisis de correlación cruzada (ilustraciones 2, 3 y 4) sugieren la existencia de una correlación entre las entradas anuales a dichas presas y el número de manchas promedio anual.

Desafortunadamente no ha sido posible establecer la relación entre las entradas anuales a presas y el número de manchas promedio anual de manera regional, ya que la relación sólo se ha establecido de forma individual en varias de las presas analizadas.

Conclusiones

A pesar de la poca información que se tiene acerca del comportamiento del Sol y de la magnitud de sus efectos sobre nuestro planeta (sólo se tiene información con registros confiables sobre las manchas solares de los últimos 150 años, mientras que la edad aproximada del

Ilustración 3. Función de correlación cruzada entre los volúmenes de escurrimiento y el número de manchas solares anuales para la presa Adolfo López Mateos, Sinaloa, México (1939-1995). Datos pre-blanqueados.

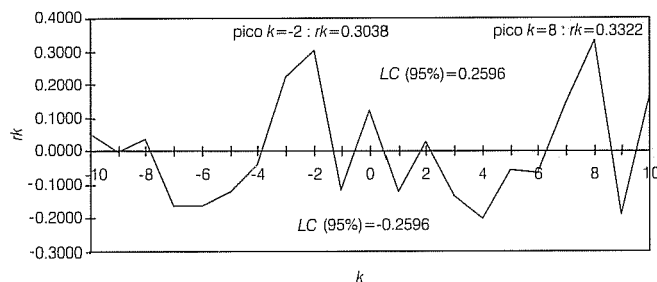


Ilustración 4. Función de correlación cruzada entre los volúmenes de escurrimiento y el número de manchas solares anuales para la presa La Angostura, Sonora, México (1942-1995). Datos pre-blanqueados.

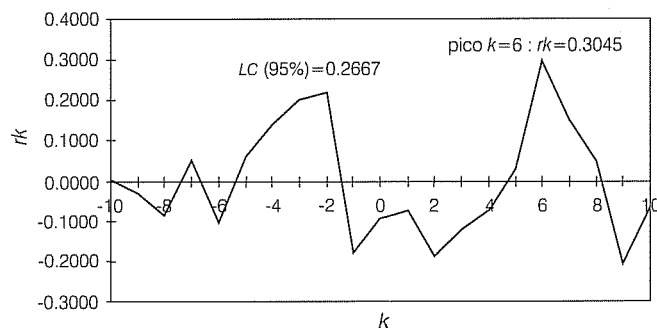
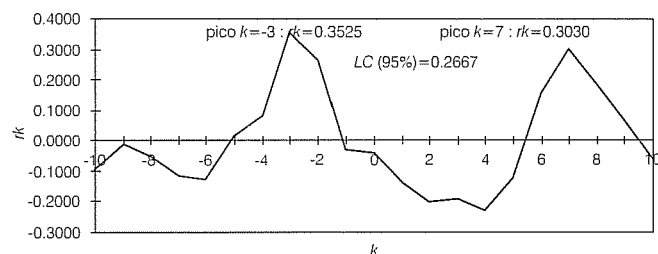


Ilustración 2. Función de correlación cruzada entre los volúmenes de escurrimiento y el número de manchas solares anuales para la presa Adolfo Ruiz Cortínez, Sonora, México (1942-1995). Datos pre-blanqueados.



Sol es de 4,500 millones de años), el análisis estadístico utilizado en este estudio concluye que sí existe una relación entre la actividad solar y los volúmenes de escurrimiento anual en algunas presas del noroeste de la república mexicana. Si bien la relación ha sido establecida de manera individual, ya que no ha sido posible establecer dicha relación en forma regional, los autores recomiendan considerar este tipo de análisis como complemento a la realización de estudios destinados a optimizar el almacenamiento y uso del agua en las zonas involucradas en este trabajo, dado su potencial para efectuar pronósticos de comportamiento de las entradas anuales a las presas ubicadas en el sector geográfico considerado.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo otorgado por la Universidad de las Américas-Puebla en la realización de este trabajo.

Recibido: 30/07/2003
Aprobado: 08/09/2004

Referencias

- BOX, G.E.P. y JENKINS, G. *Time series analysis, forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day, 1970, 575 pp.
- BRAS, R.L. *Agua, ambiente y cambio de clima*. Conferencia de ingreso a la Academia de Ingeniería, A.C. México, D.F., 2004.
- CHRISTENSEN, E.F. y LASSEN, K. Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate. *Science*. Vol. 254, 1991, pp. 698-700.
- JENKINS, G.M. y WATTS. *Spectral analysis and its applications*. San Francisco: Holden-Day, 1968, 525 pp.
- KERR, R.A. Could the sun be warming the climate? *Science*. Vol. 254, 1991, pp. 652-653.
- RWC. Belgium World Data Center for the Sunspot Index, Monthly Sunspots [en línea]. 2004, disponible para *World Wide Web*: <http://sidc.oma.be/index.php3>.
- REID, G.C. Influence of solar variability on global sea surface temperatures. *Nature*. Vol. 329, núm.10, 1987, pp. 142-143.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I. *The application of cross-spectral analysis to hydrologic time series*. Hydrology Paper # 24. Fort Collins, Estados Unidos: Colorado State University, 1967.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I. y YEVJEVICH, V. *The investigation of relationship between hydrologic time series and sunspot numbers*. Hydrology Paper # 26. Fort Collins, Estados Unidos: Colorado State University, 1968.
- SALAS, J.D., DELLEUR, J.W., YEVJEVICH V. y LANE, W.L. *Applied modeling of hydrologic time series*. Littleton, Estados Unidos de Norteamérica: Water Resources Publications, 1980a, 484 pp.
- SALAS, J.D. y SMITH, R.A. Uncertainties in hydrologic time series analysis. *Paper presented at the ASCE Spring Meeting*. Portland, Oregon. 1980b.
- YEVJEVICH, V.M. *Fluctuations of wet and dry years. Part 1. Research data assembly and mathematical models*. Hydrology Paper # 1. Fort Collins, Estados Unidos: Colorado State University, 1963.
- YEVJEVICH, V., *Stochastic processes in hydrology*. Littleton, Estados Unidos: Water Resources Publications, 1972, 302 pp.

Abstract

RAYNAL-VILLASEÑOR, J.A., GUEVARA-MIRANDA, P. & AIZA-BEZARES, N.M. *Relationship between sunspots and annual inflow volumes on dams in northwestern Mexico*. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XX, no. 3, July-September, 2005, pp. 111-115.

This paper presents the results of a study using cross correlation statistical analysis between the annual inflows to three reservoirs in Northwestern Mexico and the mean annual number of sunspots and shows that both variables, one astronomical and the other hydrological, are related. The analysis only worked at the individual scale, it has not been possible to establish a regional relationship between both variables.

Keywords: sunspots, cross correlation, correlation coefficient, annual inflow volumes, reservoirs.

Dirección institucional de los autores:

Dr. José A. Raynal-Villaseñor

Profesor titular.
Departamento de Ingeniería Civil,
Universidad de las Américas-Puebla,
Exhacienda de Santa Catarina Mártir s/n,
72820 San Andrés Cholula, Puebla,
teléfono: + (52) (222) 229 2647,
fax: + (52) (222) 229 2258,
josea.raynal@udlap.mx

Ing. Pedro Guevara-Miranda

Profesor de laboratorio.
Departamento de Ingeniería Civil,
Universidad de las Américas-Puebla,
Exhacienda de Santa Catarina Mártir s/n,
72820 San Andrés Cholula, Puebla,
teléfono: + (52) (222) 229 2645,
fax: + (52) (222) 229 2258,
ua014252@mail.udlap.mx

M. en C. Nure M. Aíza-Bezares

Associate consultant.
Engineering Department,
The Port Authority of New York & New Jersey,
Two Gateway Center, 11th Floor, 100 Mulberry Street,
Newark, NJ 07102, USA,
teléfono: (973) 792 3633,
fax: (973) 792 3674,
naiza@panynj.gov