

El Sol y el clima en la Tierra

William Bruckman y Elio Ramos
Universidad de Puerto Rico en Humacao
miguelwillia.bruckman@upr.edu, elio.ramos@upr.edu

Resumen

Presentamos argumentos y evidencias de que el ciclo de 11 años de actividad solar y rayos cósmicos induce variaciones periódicas en temperatura y en precipitación de nieve y lluvia, que a su vez producen oscilaciones en el nivel del mar promedio. La evidencia observacional que presentamos comienza con un breve recuento histórico de relaciones entre cambios climáticos y el ciclo solar, y termina con investigaciones más recientes, para luego pasar a la descripción de nuestro análisis de datos del nivel del mar en estaciones en Magueyes y San Juan, Puerto Rico, y más de 1000 estaciones alrededor del mundo. En este estudio se demuestra una alta correlación entre la actividad solar y los niveles del mar de estas estaciones, y se concluye que cuando el Sol está en mínima actividad (flujo de rayos cósmicos en máxima actividad) tenemos menores temperaturas y niveles del mar promedio. Las conclusiones basadas en las estaciones en Puerto Rico pudimos confirmarlas con análisis en más de 1000 estaciones alrededor del mundo. Una hipótesis explicativa de estas altas correlaciones es que cuando el Sol (flujo de rayos cósmicos) está en mínima (máxima) actividad disminuye el flujo Solar y se estimula mayor precipitación y formación de nubes, y ambos efectos contribuyen a la disminución de las temperaturas, la contracción termal de los océanos y la acumulación de agua y nieve en los continentes. Por consiguiente, cuando el sol está en un mínimo en su ciclo tendremos una mínima tasa de crecimiento en el nivel del mar. Actualmente (2009) nos encontramos en un mínimo del ciclo solar y, de acuerdo a lo dicho, esto tendería a disminuir, en los próximos 2 a 3 años, los efectos del calentamiento global provenientes de la actividad humana.

Palabras claves: cambio climático, ciclo solar, rayos cósmicos, nivel del mar

Abstract

We argue that the solar activity cycle induce periodic variations in rain-snow precipitation and sea-air temperatures, that cause mean sea level oscillations. We present observational evidence in favor of the above hypothesis, starting with a brief historical background of studies of solar cycle influence on climate. The evidence indicates that the Solar and Cosmic rays cycles are correlated with changes in temperature and precipitation. We analyzed data for the monthly mean sea level at San Juan and Magueyes Island in Puerto Rico, seeking correlations between sea level fluctuations and solar, cosmic rays and temperature cycles. Our analysis reveals that a solar activity cycle minimum (cosmic ray intensity maximum) correlates with lower than average temperatures and mean sea levels. We have verified the above conclusions, using data from more than 1000 mean sea level stations around the world. We discussed, as a possible explanation of the above correlations, that the solar and cosmic rays cycles could cause larger than average accumulation of continental water and snow with lower temperatures contracting the oceans, thus implying lower mean sea levels. Right now, we are in a minimum in solar cycle activity, and therefore there will be a tendency to reduce the global warming effects due to humans.

Keywords: climate change, solar cycle, cosmic rays, sea level

La influencia del sol sobre la Tierra es de singular importancia y es por tanto muy relevante investigar como los cambios en este astro afectan nuestro clima, lo que en

particular se ha hecho con las variaciones en la actividad solar asociada al ciclo de manchas solares (para más detalles sobre la historia de estudios de variaciones solares y el clima ver: The Variable Sun <http://www.aip.org/history/climate/solar.html>). En este ciclo, de aproximadamente 11 años, se produce en la superficie del sol un aumento significativo de regiones de menor luminosidad llamadas manchas solares (Figura 1). También ocurren una serie de fenómenos explosivos tales como las fulguraciones (llamaradas, *flares*¹) (Figura 2), eyecciones de masa coronal y otros transientes. La relevancia de esta actividad solar en nuestro clima tomó auge con la publicación de un importante artículo en la revista *Science*, por J.A. Eddy en 1976. En este artículo se presentó evidencia convincente de la existencia de un periodo histórico de 1645 a 1715, llamado el Mínimo de Maunder, donde las manchas solares virtualmente desaparecieron, y el clima se caracterizó por temperaturas muy por debajo de las actuales. Esta ausencia de manchas solares fue mencionada originalmente por Gustav Spörer (1887), basándose en los datos recopilados por Rudolf Wolf (1856, 1868). Edward Maunder (1890, 1894, 1922) resumió estos hallazgos, añadió otros, y los defendió arduamente del escepticismo de los especialistas, que dudaban de la capacidad observacional de manchas solares en esa época. En su artículo Eddy logró convencer a muchos investigadores que las evidencias presentadas por Maunder eran robustas, y añadió el análisis de otras observaciones, como la supresión de las *coronas solares* (Figura 3) durante los eclipses de esa época y las variaciones del isótopo *Carbono 14* (¹⁴C). Los cambios en la concentración de ¹⁴C, medidos en los anillos de árboles, se asocian al ciclo solar ya que cuando el sol está en su mínimo de actividad el flujo de *rayos cósmicos galácticos* (RCG) está en su máximo, y los rayos cósmicos penetran nuestra atmósfera aumentando la producción de ¹⁴C (Figura 4). Por otro lado, Eddy mostró que el mínimo de Maunder coincidió con una época de clima inusualmente frío, que era parte de la llamada la pequeña edad de hielo, durante la cual las temperaturas fueron significativamente menores que en el presente, lo que sugirió fuertemente una conexión causal entre la actividad solar y las temperaturas de la Tierra.

¹ Las palabras en itálico se definen en el glosario al final de este artículo.



Figura 1: Foto del Sol con manchas solares

La magnitud y la duración de la pequeña edad de hielo, descrita en el párrafo anterior, fue mucho menor que la de las grandes edades de hielo. La última gran edad de hielo terminó hace aproximadamente 12,000 años, y en ella se produjo una disminución del nivel del mar debido a la acumulación de agua en los glaciales continentales. Por ejemplo, la isla de Puerto Rico llegó a tener aproximadamente 300 kilómetros ponerlo en MKS, como se usa en todas las revistas internacionales de largo, donde Vieques, Culebra, y las demás Islas Vírgenes (excluyendo a Santa Cruz) fueron altas cordilleras (Figura 5). La hipótesis más aceptada como explicación de las grandes edades de hielo es la del serbio Milutin Milankovich. Éste concluyó que existen variaciones a largo plazo en los parámetros orbitales terrestres (excentricidad, oblicuidad e inclinación) y esto produce variaciones periódicas en la cantidad y distribución de radiación solar sobre la Tierra. La pequeña edad de hielo no se debió a cambios en los parámetros orbitales terrestres.



Figura 2: Imagen de una llamarada (flare) solar

Nuevas evidencias y probables mecanismos de relaciones entre el clima y la actividad solar continúan reportándose. Por ejemplo, con el advenimiento de los satélites artificiales se ha podido medir directamente el flujo de radiación solar, y en verdad existen variaciones que, aunque pequeñas (~ 0.1% de cambio en el flujo solar), podrían tener influencia importante en el calentamiento de nuestra atmósfera, particularmente por la absorción en el ultravioleta (Haigh, 1996, 1999, Schindell et al, 1999). Por otro lado, como hemos dicho, el Sol puede también intervenir en el clima indirectamente a través de su modulación periódica del flujo de RCG, ya que este flujo posee una periodicidad anti-correlacionada con la del ciclo solar. La influencia de los RCG en la formación de nubes y la alteración del clima es una materia todavía en gran debate, (Ney, 1969; Dickinson, 1975; Pudorking y Raspopov, 1992; Pudorkin y Vereteneko, 1992; Tinsley, 1996; Svensmark et al., 1997; Svensmark, 1998; Voiculescu et al., 2006; Ellykin et al., 2009) donde son explorados los mecanismos de producción de núcleos de condensación de nubes. La idea general es que los rayos cósmicos producen *iones* que al interaccionar con nuestra atmósfera facilitan la condensación y por consiguiente la formación de nubes (Carlaw 2002). Por el lado observacional, Svensmark et al. (1997) descubrió que la cubierta de nubes de la Tierra, observada por satélites, está fuertemente correlacionada con el flujo de RCG, mientras que Kniveton y Todd (2001) concluyeron que también existe una alta *correlación* entre variaciones de precipitación a gran escala y el ciclo de RCG, entre la banda de latitudes 45°S – 90°S. Más aún, estudios recientes por Stager et al. (2007) y Rusmaikin et al.(2006) revelan correlaciones entre el ciclo solar y fuertes lluvias en africa del este. Por otro lado, en lo que concierne a las temperaturas, Friis-Christensen y Lassen (1991) presentaron evidencia observacional que, del 1861 al 1989 en el hemisferio norte, la duración del periodo de número de manchas solares anti-correlaciona con las *tendencias* en las variaciones de las temperatura promedio de aire en la superficie. Finalmente, hemos encontrado que también existe una alta correlación de 0.65 (anti-correlación) entre el ciclo solar (ciclo de RCG) y anomalías en la temperatura de superficie del mar global , promediadas a cinco años (Bruckman-Ramos, 2003, 2004, 2007) (Figura 6).



Figura 3: Imagen de Corona Solar durante un eclipse total del Sol

Las investigaciones descritas en el párrafo anterior sugieren que el Sol afecta a la Tierra de manera directa, por cambios en su flujo de radiación, y también de manera indirecta ya que modula el flujo de rayos cósmicos que inciden sobre nuestro planeta. En otras palabras, una disminución de actividad solar puede reducir las temperaturas sobre la Tierra debido a menor radiación solar y mayor flujo de RCG. Los RCG pudieran influenciar las temperaturas al producir un aumento en la cubierta de nubes lo cual disminuye la insolación sobre la superficie terrestre.

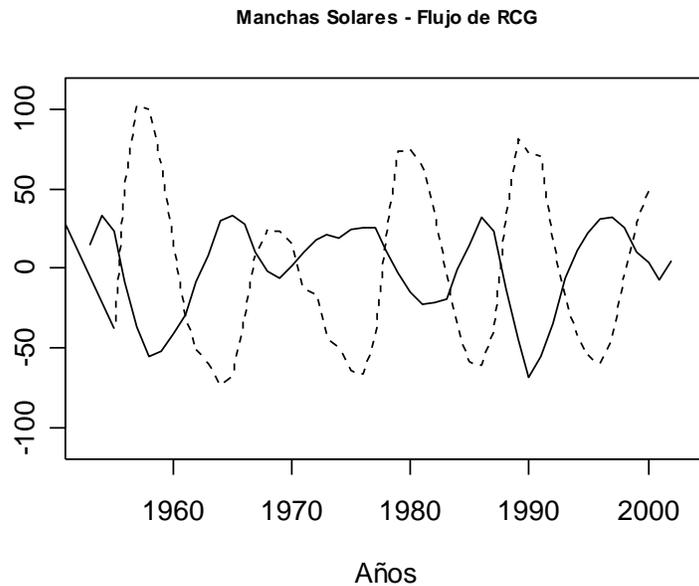


Figura 4: Grafica de manchas solares (entrecortada) y flujo de rayos cósmicos galácticos

La presencia de variaciones cíclicas en las temperaturas globales podría manifestarse en la *expansión y contracción termal* de los océanos. Además, disminuciones en la temperatura con correspondiente aumento en precipitación pueden inducir cambios en la cantidad de nieve y agua depositada sobre los continentes lo cuál también afectaría el nivel del mar promedio. De hecho, en el hemisferio norte se han observado, por David Robinson y Anjuli Banzai (poner referencia), incrementos periódicos, cuasi-decadales, en el área cubierta por nieve, los cuales están altamente correlacionados con las reducciones de temperatura de superficie. Lo antes dicho justifica la búsqueda de relaciones entre cambios en los niveles promedios del mar y las variaciones en la actividad solar y los RCG. En un estudio iniciado en el 2002 sobre este tema, con datos de nivel del mar en San Juan y la Isla de Magueyes en la costa sur-oeste de Puerto Rico (Bruckman-Ramos 2003, 2004, 2007), se concluyó que los mínimos anuales en los niveles del mar promedio presentan anomalías con periodicidades similares a las observadas en las temperaturas globales promedio, los RCG y la actividad solar (figura 7). Un análisis de correlación entre las curvas, en la figura 7, de numero de manchas solares y niveles del mar promedio revela una alta correlación de 0.71 con un retardo de aproximadamente 3 años. Los correspondientes análisis para San Juan reflejan valores similares. El retardo de 3 años puede interpretarse como producido por la inercia termal de los océanos. O sea, la irradiación solar minima no coincide, en general, con el mínimo de temperatura y nivel del mar. Esto, por ejemplo, lo apreciamos en el clima de las estaciones del año, donde en el comienzo del invierno en un hemisferio no tenemos los mínimos de nivel del mar y temperaturas, sino que ocurren varios meses después.

Los hallazgos de Magueyes y San Juan fueron confirmados en estudios similares hechos en estaciones individuales, en el caribe, en el norte del Atlántico y el pacifico ,y ,colectivamente, en mas de 1000 estaciones alrededor del mundo (Bruckman-Ramos 2009), (figura 8), donde se observa que las variaciones del nivel del mar global están correlacionadas (anti-correlacionadas) con el ciclo solar (ciclo de rayos cósmicos). La correlación en los datos del nivel del mar global versus el número de manchas solares (figura 8) fue de 0.60.

Actualmente (2009) nos encontramos en un mínimo de actividad solar (máximo actividad rayos cósmicos) y vaticinamos que los próximos 2 a 3 años tendremos un mínimo relativo de menores temperaturas y niveles del mar. El mínimo es relativo, ya que probablemente el anterior efecto se sobrepone a la tendencia debida al bióxido de carbono de fuentes humanas, la cual tiende al aumento de estas variables.

Es bien importante reconocer y entender la contribución de la actividad solar y de rayos cósmicos a la variación de temperaturas y nivel del mar, de tal forma que podamos distinguirla del efecto humano en el clima. Por ejemplo, si en los próximos años tenemos una reducción de la actividad solar y las temperaturas globales, o su tendencia al aumento, se reducen, entonces existe el peligro de mal interpretar esta situación, y concluir que el calentamiento global debido a causas humanas no es de significativa importancia, y entonces puede que se nos haga tarde para cambiar nuestros estilos de vida que puedan afectar el clima de manera irreversible.

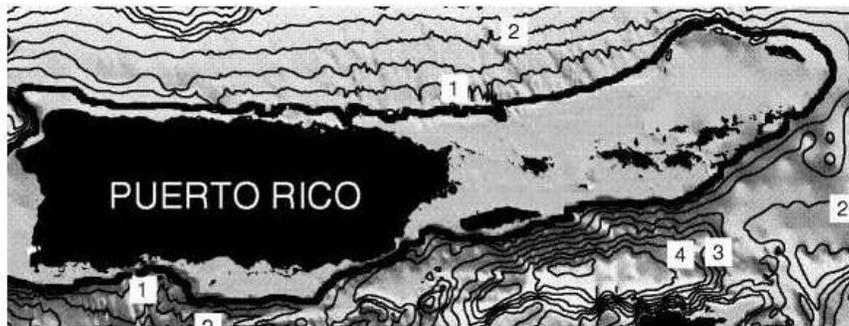


Figura 5: La línea gruesa demarca, aproximadamente, las costas de Puerto Rico durante la última era glacial.

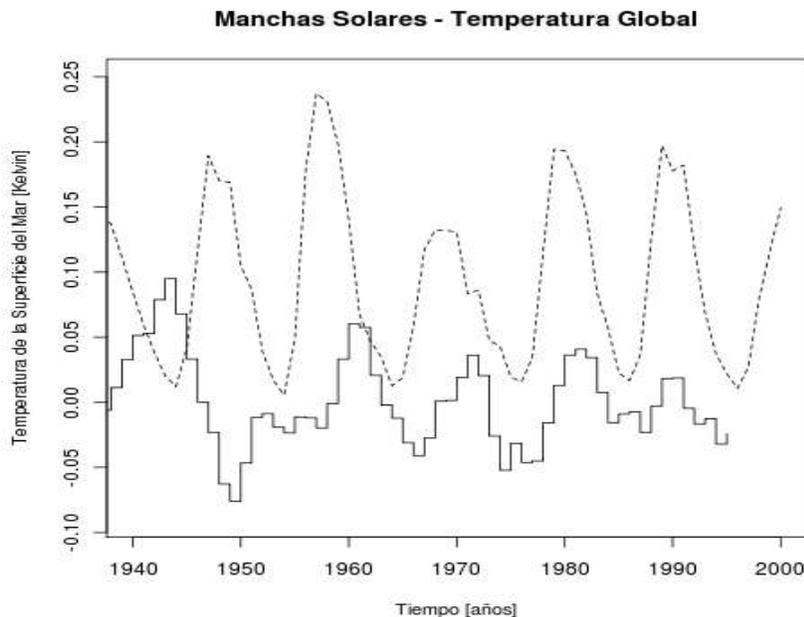


Figure 6: Comparación de las gráficas de manchas solares (entrecortadas) y temperatura global (sin tendencia) de superficie del mar promediada a 5 años (sólida).

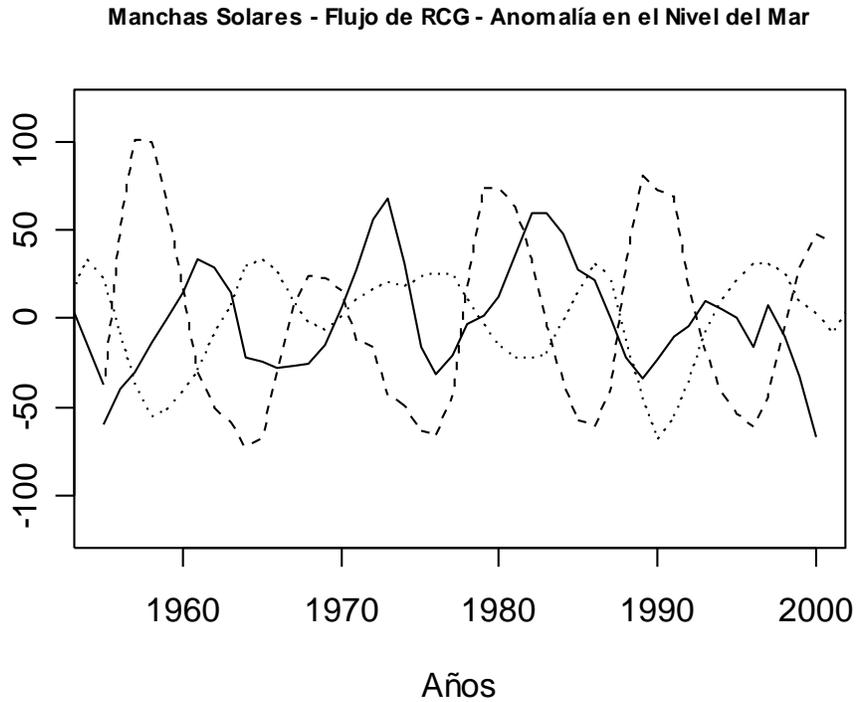


Figura 7: Comparación de la gráfica de las anomalías en el nivel del mar promedio en Magueyes (Lajas) Puerto Rico (sólida), número de manchas solares (entrecortada), y flujo de RCG (puntos).

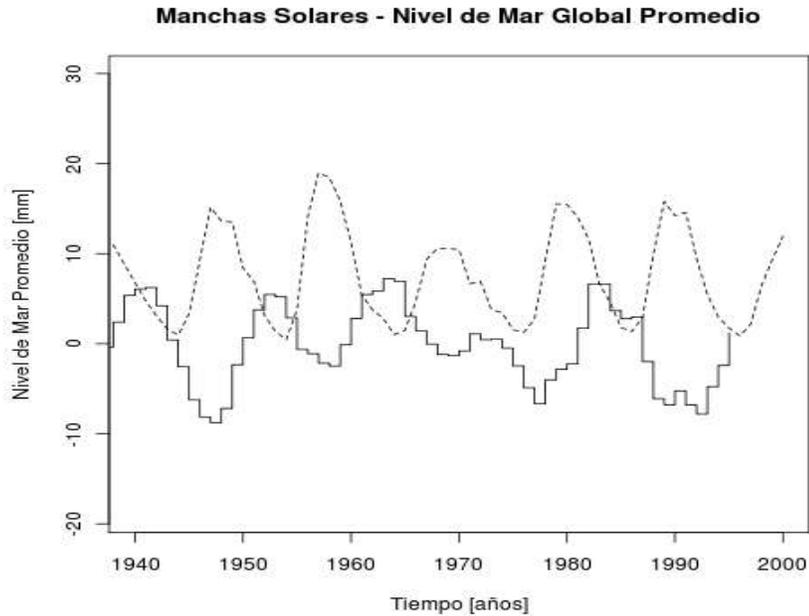


Figure 8: Número de manchas solares (entrecortadas) vs. nivel del mar global, promediado a 5 años. Los datos de nivel del mar son de 1023 estaciones alrededor del mundo (Jevrejeva et al. 2006). A los niveles del mar promedio se le quito la tendencia.

Referencias

- Eddy, J.A. (1976). The maunder minimum. *Science*, 192, 1189-1202.
- Spörer, F.W. (1887). Vierteljahrsschr. *Astron.Ges.Leipzig*, 22, 323
- Wolf, R. (1856). *Astron. Mitt. Zurich*, 1 VIII
- Wolf, R. (1868). *Astron. Mitt. Zurich*, 24, III
- Maunder, E.W. (1890). *MNRAS*, 50, 251
- Maunder, E.W. (1894). *Knowledge* 17, 172
- Maunder, E.W. (1922). *Journal of Brit. Astron. Assoc.*, 32, 140
- Haigh, J.D. (1996). The Impact of Solar Variability On Climate, *Science* 272, 981-984.
- Haigh, J. D. (1999). Modeling the Impact of Solar Variability on Climate, *J. Atmos. Solar Terrest. Physics*, G1, 63-72.
- Haigh, J. D. (1999). A GCM Study of Climate Change in Response to the 11-year solar cycle, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 125, 871–892.
- Shindell, D., Rind, D., Balabhandran, N., Lean, J., and Lonergan, P. (1999), Solar Cycle Variability, Ozone, and Climate, *Science* 284, 305.

- Ney, E.R. (1959). Cosmic Radiation and the Weather, *Nature* 183, 451-452.
- Dickinson, R. (1975). Solar Variability and the Lower Atmosphere, *Bull. Am. Met. Soc.* 56, 1240-1248.
- Pudonkin, M.I., and Raspopov, O.M. (1992). The Mechanism of Action of Solar Activity On the State of the Lower Atmosphere and Meteorological Parameters (A Review), *Geomagnetic and Aeromagnetic* 32, 593-608.
- Pudonkin, M.I., and Veretenenko, S. 1995, "Cloudiness Decrease Associate with Forbush Decreases of Galactic Cosmic Rays", *J. Atmos. Terr. Phys.* 57, 1349-1355.
- Tinsley, B.A. (1996). "Solar Wind Modulation Of The Global Electric Circuit and the Apparent Effects on Cloud Microphysics", Latent Heat Release and Tropospheric Dynamics", *J. Geomag. Geoelectr.* 48, 165-175.
- Tinsley, B. A. (1996). Correlations of Atmospheric Dynamics with Solar Wind Induced Changes of Air-Earth Current Density into Cloud Top, *J. Geophys. Research*, 101, 29701-29714.
- Svensmark, H. & Friis-Christensen, E. (1997). Variations of Cosmic Ray Flux and Global Cloud Coverage – A missing link in Solar Climate Relationships, *J. Atm. Sol. Terr. Phys* 59, 1225-1232.
- Svensmark, H. (1998). Influence of Cosmic Rays On Earth's Climate, *Phys. Rev. Lett.* 81, 5027-5030.
- Voiculescu, M., Usoskin, I. G. & Mursula, K. (2006). Different response of clouds to solar input. *Geophys. Res. Lett.* 33, L21802
- Erlykin, A.D., Gyalai, G., Kudela, K., Sloan, T. & Wolfendale, A. W. (2009). On the correlation between cosmic ray intensity and cloud cover. *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* In press.
- Voiculescu, M., Usoskin, I.G. & Mursula, K. (2006). Different response of clouds to solar input. *Geophys. Res. Lett.* 33, L21802.
- Carlaw, K.S, Harrison, J. & Kirby, J. (2002). "Cosmic Ray, Clouds, and Climate", *Science* 298, p. 1732.
- Kniveton, D.R., Todd, M.C. (2001). On the Relationship between Precipitation Efficiency and Cosmic Ray Flux, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1527 – 1530, 2001.

- Stager , J.C., Ruzmaikin ,A., Conway D., Verburg, P. & Mason, P.J. (2007). Sunspots, El Nino, and the levels of lake victoria East Africa, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 , D15106.
- Ruzmaikin , A., Feynman J., & Yung Y.L. (2006). Is solarvariability reflected in the Nile river? *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, D21.
- Friis-Chrsitensen, E., and Lassen, K. (1991). Length of the Solar Cycle: An Indicator Closely Associated with Climate, *Science* 254, 698-700.
- Bruckman, W., Ramos, E. (2003). Possible Evidence of Relation Between Sea Level Fluctuations and the Solar Cycle. (Submitted to *Geophysical Research Letters* Manuscript 2003GL017273), not published.
- Bruckman, W. & Ramos, E. (2004). El Sol y el Cambio Climatico, Simposio Cambio Climático, UPR-Bayamon PR., 2004, Proceedings en biblioteca UPR-Bayamon PR.
- Bruckman ,W. & Ramos, E. (2007). “Evidence For Climate Variations Induced by The Solar Cycle”. Congreso Internacional:Gaia y El Cambio Climático. 2007, UPR-Río Piedras, P.R.
- Bruckman ,W. & Ramos,E. (2009). “Evidence For Climate Variations Induced by The 11 year Solar and Cosmic Rays Cycles”. XXVII General Assembly of the International Astronomical Union (IAU), Symposium 264: Solar and Stellar Variability -Impact on Earth and Planets. Rio de Janeiro ,Brazil, August 3 to 7, 2009.
- Robinson, D.A., & Banzai, A. *Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basic*, Sec 2.2.5. Changes in the Cryosphere
- Jevrejeva, S. et al. (2008). Recent global sea level acceleration started over 200 years ago?, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L08715
- The Variable Sun – <http://www.aip.org/history/climate/solar.htm>

Glosario

Anomalías En una gráfica en función de tiempo se refiere a meses o años particulares en donde se obtuvo una medición por encima o por debajo del promedio para ese mes o año.

Correlación Término utilizado para indicar si dos variables están estadísticamente relacionadas. Si el valor del coeficiente de correlación es $r \approx 0$ esto indica que no hay relación entre variaciones en una variable y las variaciones en otra. Si $r \approx 1$ esto indica que si la primera variable aumenta la segunda variable aumenta de forma similar. Si $r \approx -1$ esto indica que si una variable aumenta la otra variable disminuye (anticorrelación).

Expansión y Contracción Termal Cambios en volumen inducidos por variaciones en temperatura. Por ejemplo, un aumento en temperatura de los mares produce un aumento en su volumen.

Flares (Llamaras) Explosiones en la superficie solar donde grandes cantidades de energía son liberadas en un periodo corto de tiempo. Son fuentes de intensos rayos X y rayos gamma.

Isótopo Carbono 14 Átomos de carbón con núcleos más masivos que el núcleo del átomo regular (Carbono 12). Esto se debe a que poseen dos neutrones adicionales en el núcleo.

Rayos Cósmicos Galácticos Los rayos cósmicos son partículas atómicas de muy alta energía originadas en el espacio exterior. La mayoría de los rayos cósmicos son núcleos de átomos, principalmente protones. Cuando los rayos cósmicos se originan fuera del sistema solar se les llama galácticos.

Tendencia Comportamiento de una cierta cantidad a largo plazo generalmente ignorando las variaciones a pequeñas escalas de tiempo.

Citación de este artículo:

Bruckman, W. y Ramos, E. (2009). El Sol y el clima en la Tierra. *Revista Umbral*, 1, 42-53. Disponible en: <http://ojs.uprrp.edu/index.php/umbral/article/download/16/5>