

DEPENDENCIA DE LA INTENSIDAD DEL FLUJO PROTONICO SOLAR CON LOS PARAMETROS DEL VIENTO SOLAR

Eduardo del Pozo García¹ y Jorge Félix Valiente Márquez²

Departamento de Astronomía, Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA). La Habana, Cuba

RESUMEN

En trabajos anteriores se determinaron las relaciones del flujo protónico solar ($E > 10$ MeV) con, la radioemisión de los eventos de bandas métrica y centimétrica y la heliolongitud del destello. Este parámetro es un indicador de la posición relativa entre el evento solar y la Tierra. En el presente artículo se analizaron 22 eventos protónicos con baja radioemisión en banda métrica a velocidades del Viento Solar menores que 500 Km/s. Se determinó la dependencia de la intensidad del flujo protónico con las condiciones existentes en el medio interplanetario, en particular con la densidad y la velocidad del "Viento Solar". Los resultados muestran una relación inversa con la velocidad: mayores intensidades de flujo a bajas velocidades del "Viento Solar", y una posible relación directa con la densidad: mayores intensidades de flujo para altas densidades del Viento Solar.

ABSTRACT

In former works the relation of the solar proton flux intensity ($E > 10$ MeV) with burst radioemission at centimetric and metric bands and flare heliolongitude were determined. Being this parameter an indicator of relative position between Earth and solar event. In present paper 22 proton events with a low metric band radioemission, which took place when Solar Wind speed was less than 500 km/s were analyzed. The dependence of proton flux intensity with the interplanetary medium conditions in particular with Solar Wind speed and density was determined. In particular, an inverse relation with velocity: Greater flux intensity takes place at low Solar Wind speed is obtained, and a possible direct relation with density: Greater flux intensity takes place at high Solar Wind density is suggested.

INTRODUCCION

Una caracterización de la intensidad del flujo protónico en las inmediaciones de la Tierra se obtuvo en 1989 [1]. Esta caracterización se apoya en dos informaciones básicas:

La dependencia del flujo protónico de la intensidad de la radioemisión en bandas métrica y centimétrica y, la posición relativa de las zonas emisoras en el Sol respecto a la posición orbital de la Tierra. Considerando como primera aproximación de la posición relativa se toma la heliolongitud del destello asociado al radioevento.

Con posterioridad se determinaron los diagramas de direccionalidad de los eventos protónicos en el plano de la eclíptica desde las inmediaciones de la Tierra [2][3]. Lo que confirmó la gran diferencia entre las características de la direccionalidad de los eventos protónicos según su intensidad en la banda métrica de radioemisión. Y se obtuvo una dependencia aproximadamente cuadrática con la heliolongitud del logaritmo de la intensidad del flujo protónico.

Los eventos protónicos cuya emisión se caracteriza por una radioemisión débil en banda métrica

presentan diagramas de direccionalidad del flujo protónico con una menor direccionalidad.

En análisis anteriores esta menor direccionalidad se asoció a la existencia de desventajosas condiciones de propagación en la alta corona al ocurrir estos eventos.

En el presente artículo presentan evidencias que indican la necesidad de reconsiderar esta explicación y, se presenta el efecto de variación en la intensidad de flujo protónico con el estado de los parámetros del "Viento Solar" antes de ocurrir el evento y, se analiza la alternativa de la interacción con el medio interplanetario como causa del comportamiento no explicado de la intensidad del flujo protónico en las inmediaciones de la Tierra.

MATERIALES Y METODOS

Se tomó un grupo de eventos protónicos relacionados con destellos en el disco visible del Sol, que presentan una intensidad máxima del flujo protónico observado en la Tierra con energía $E > 10$ MeV, e intensidad $I_{10} > 1.5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$.

Email: ¹pozo@iga.cu
²valiente@iga.cu

Además fueron incluidos los eventos solares que satisfacían el criterio de protónico [4], sin límite inferior sobre la intensidad del correspondiente flujo de protones en la Tierra.

En total se utilizaron 22 eventos solares de radioemisión débil en banda métrica (menos de 5000 UF), que ocurrieron cuando el “Viento Solar” era de baja velocidad < 500 km/s, lo que caracteriza el estado del medio interplanetario.

Para el análisis de la interacción de la onda de choque con el “Viento Solar” se tomaron de cada uno de los eventos protónicos analizados los siguientes datos:

La intensidad observada del flujo protónico y la intensidad calculada según los algoritmos establecidos en 1989 [1] y, los parámetros del “Viento Solar” de la medición horaria anterior al máximo de radioemisión centimétrica del radioevento asociado.

No fueron incluidos los eventos protónicos producidos en una región de gran actividad, o que el flujo protónico observado era el resultado de eventos de diferentes zonas, pues en ambos casos no es posible separar con exactitud a que región activa corresponden los flujos protónicos observados. Tampoco fueron incluidos los eventos complejos que se observan sobre el fondo de una fuerte perturbación geomagnética, la cual provoca una variación adicional de los parámetros de estos flujos protónicos [1].

En los casos que no se contó con la observación de la intensidad máxima de los radioeventos se determinó mediante los espectros de frecuencias construidos con todos los datos de la red mundial [4].

RESULTADOS

La concepción general utilizada para el pronóstico del flujo protónico (Figura 1) incluye a través del parámetro de la heliolongitud “ θ ”, las características de la propagación de los protones solares a través del medio interplanetario según la posición relativa de la Tierra respecto la región del Sol en que tiene lugar el evento. Propagación caracterizada en general por la forma espiral de las líneas magnéticas del medio interplanetario.

Sin embargo, esta concepción no considera el estado del medio interplanetario, y no incluye:

El mayor o menor grado de interacción de la eyección de masa coronal (CME) y la onda de choque asociada con el estado del medio interplanetario, ni la influencia en la propagación de las partículas cargadas debido al cambio de curvatura de las líneas espirales causadas por las variaciones en la velocidad del Viento Solar [5].

No obstante, para analizar la dependencia con los parámetros del viento solar es necesario reducir la dependencia del flujo protónico de la intensidad máxima de la radioemisión en banda centimétrica “Sf”

PRONOSTICO DEL FLUJO PROTONICO DE LOS EVENTOS SOLARES

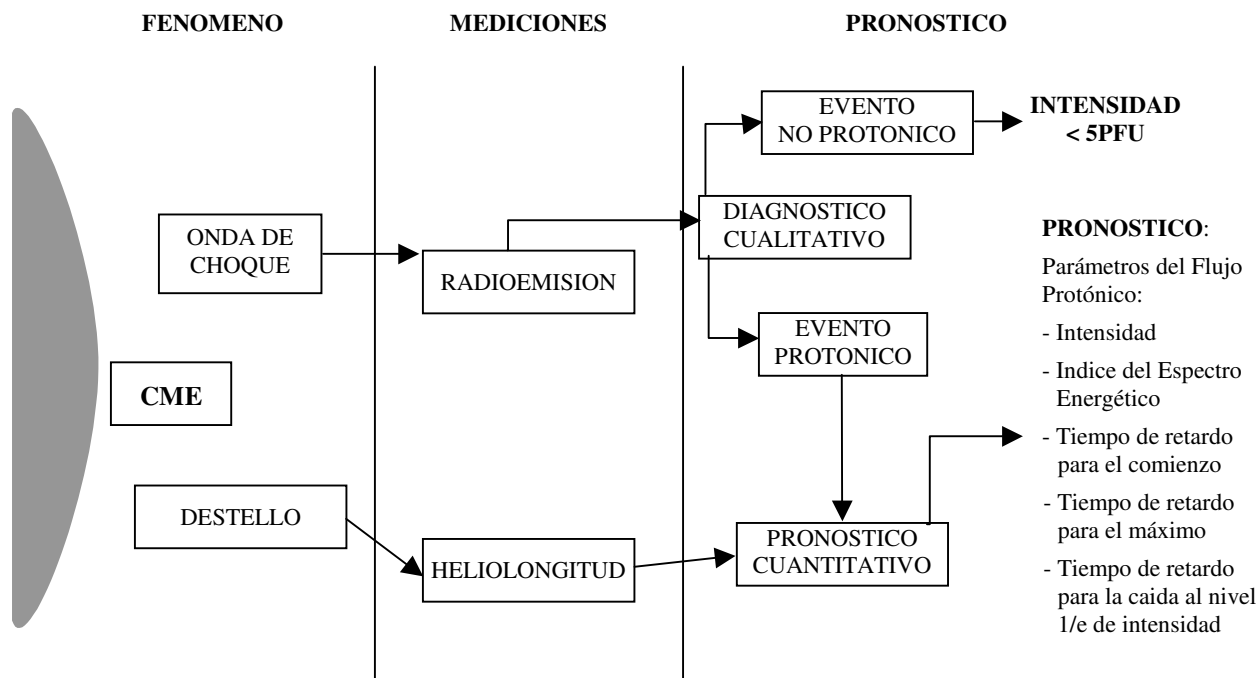


Figura 1. Concepción General del Diagnóstico del Flujo Protónico de 1989.

y del efecto de su variación por la posición relativa en el Sol respecto a la posición de la Tierra en su órbita tomando la heliolongitud "θ" del destello asociado como una primera aproximación.

Para hacer la reducción de estos efectos utilizamos los cálculos de la intensidad del flujo protónico "Ic" sobre la base de los algoritmos establecidos para la intensidad del flujo protónico en 1989:

$$I_c = K I_c(S_f, \theta) \phi(\theta) \quad (1)$$

Ic- intensidad del flujo protónico

θ- heliolongitud "θ" del destello

K- coeficiente de corrección por espectro

φ- dependencia de la heliolongitud

Estos resultados iniciales presentan un coeficiente de correlación de 0.76 entre los valores calculados y observados (Figura 2) [6]. Y fueron comprobados mediante el análisis retrospectivo con datos independientes de 18 eventos de las observaciones de 1988 a 1990 [7] más la valoración en tiempo operativo con 12 eventos de 1991 a 1993 [8].

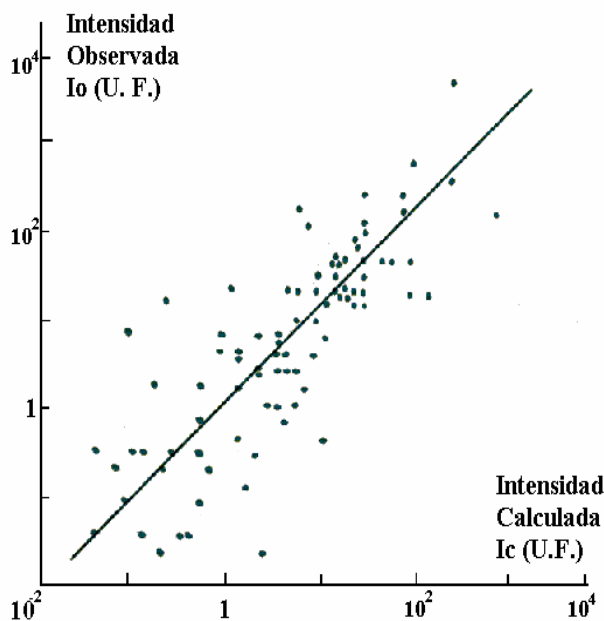


Figura 2. Relación entre el flujo protónico calculado y el flujo observado (1989).

La intensidad del flujo protónico no explicada por el modelo de la Figura 1 queda determinada por la diferencia entre el logaritmo de la intensidad observada Io y la calculada por el modelo Ic según la relación (1):

$$\text{Log } I_o - \text{Log } I_c = \text{Log } (I_o/I_c)$$

En los gráficos de la Figura 3 esta magnitud está asociada al eje de coordenadas "Y" en escala logarítmica. Y se muestra el efecto de los parámetros del "Viento Solar" como indicadores del estado del Medio Interplanetario en el tiempo de ocurrir el evento.

Estos gráficos permiten conocer la existencia de una relación entre la intensidad del flujo no explicada por el modelo de la figura 1 con la densidad (r = 0.5) y, con la velocidad (r = 0.5) del "Viento Solar" para los eventos de débil radioemisión en banda métrica según se muestra en la Figura 3.

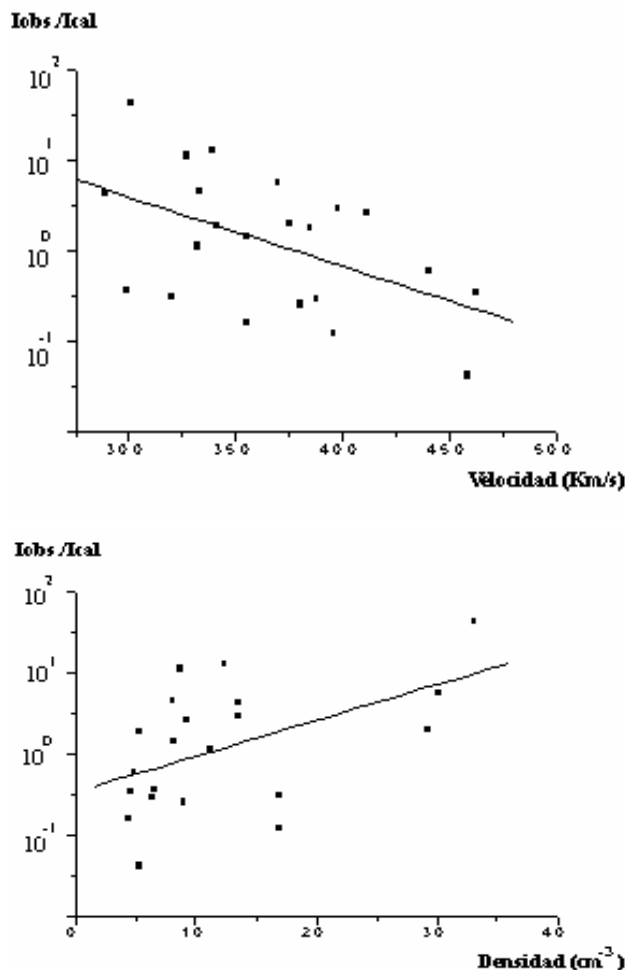


Figura 3. Relación entre la intensidad de flujo protónico no explicada por el modelo de la Figura 1, con la densidad y la velocidad del "Viento Solar".

Los referidos gráficos de dispersión presentan una posible relación positiva con la densidad del medio interplanetario y una relación negativa con la velocidad del "Viento Solar". Es decir para algunos casos de mayor densidad cuando el medio es más resistente y otros casos cuando la velocidad del "Viento Solar" es menor, y mayor es la diferencia entre esta velocidad y la velocidad del plasma eyectado por el CME se produce mayor intensidad de flujo protónico.

Lo anterior puede estar asociado con el diagrama de direccionalidad más ancho característico de los eventos de radioemisión débil en banda métrica y puede considerarse que:

“Una parte de los protones con energías mayores a 10 MeV es emitida por el plasma solar eyectado al entrar en amplio contacto con las condiciones externas de la corona y el medio interplanetario en los eventos de componente métrica débil, es decir, eventos protónicos cuya emisión se caracteriza por una radioemisión débil ”

Dado el efecto de los parámetros del “Viento Solar” sobre la intensidad del flujo protónico y el diagrama de direccionalidad ancho propio de los eventos de componente de radioemisión débil en banda métrica puede considerarse la posibilidad de asociación con un CME de ángulo ancho con amplia interacción con el medio interplanetario.

CONSIDERACIONES FINALES

Es conocido que los eventos protónicos muestran dos máximos en la radioemisión en banda centimétrica, por lo general de amplitud semejante. Esto puede indicar la existencia de dos procesos acelerativos de partículas. Un proceso inicial en el CME y otro con el avance de la onda de choque hacia el exterior del Sol.

El efecto presentado puede ser explicado de la forma siguiente:

“Los eventos de componente métrica débil, es decir, eventos protónicos cuya emisión se caracteriza por una radioemisión débil son probablemente los que se propagan con más facilidad en la Corona, manteniendo su impulso. Salen cubriendo un intervalo mayor de heliolongitudes e impactan sobre una amplia zona del medio interplanetario lo que provoca una

contribución adicional de protones acelerados a $E > 10$ MeV”

El mejoramiento del modelo y sus correspondientes algoritmos está en proceso de realización mediante la inclusión en los cálculos de la predicción, el diferente grado de interacción con el medio interplanetario del plasma solar eyectado y del flujo protónico, teniendo en cuenta los resultados de la sonda Ulysses [5] sobre los cambios en la curvatura de las líneas espirales del campo magnético y otros parámetros de este medio.

CONCLUSIONES

Estos resultados evidencian que se produce una mayor interacción entre el plasma emergente del Sol y el plasma del “Viento Solar” anteriormente emitido, cuando el plasma del “Viento Solar” se mueve a menor velocidad y mayor es la diferencia de velocidades entre ambos plasmas. Además cuando el plasma del “Viento Solar” es de alta densidad hay una mayor resistencia a la propagación del plasma emergente, causando un aumento de la intensidad del flujo protónico en las inmediaciones de la Tierra.

Estas evidencias indican que el modelo existente para el pronóstico del flujo protónico debe ser reconsiderado para los eventos de radioemisión débil en banda métrica, es decir eventos protónicos cuya emisión se caracteriza por una radioemisión débil. Esto permitiría la inclusión de esta información en un software utilizando algunos parámetros del medio interplanetario como datos de entrada, lo que permitiría un mejor ajuste con las intensidades de flujo observadas en los eventos protónicos. A la vez se sientan las bases para la futura coordinación de un “Servicio Internacional de Alertas Protónicas”, que lleve a cabo el diagnóstico de los eventos solares y el pronóstico de los parámetros del flujo protónico durante las 24 horas del día.

REFERENCIAS

- [1] FOMICHEV, V.V.; M. CHERTOK and E. del POZO (1989): “Proton Flux Intensity determination at Earth using Solar burst and its frequency spectra”, **Geomagnetism and Aeronomy**, XXIX(4), 537-544.
- [2] DEL POZO, E.; J.F. VALIENTE (1996): “Directivity Diagram of the Protonic Flux Intensity in the Solar Events at the Level of the Earth Orbit”, in **Proceedings of IV Latin American Congress and Spaces Geophysic** (COLAGE), (Eds) T. Heredia and A.G. Elias, Tucumám National University, Argentina. A4
- [3] DEL POZO, E.; J.F. VALIENTE and A. DIAS (1998): “Preliminary Algorithms For Solar Proton Events Parameter Prediction”, **ESA Workshop on Space Weather**, 11-15 November, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 357-360.
- [4] SOLAR GEOPHYSICAL DATA (1966-1993): **National Geophysical Solar Terrestrial Data Center A, Boulder, Colorado, USA**

- [5] REINIER, M.J.; J. FAINBERG and N.G. STONE (1995): "Large-Scale Interplanetary Magnetic Field Configurations Revealed by Solar Radio Burst", **Science**, 270, 461-464.
- [6] FOMICHEV, V.V.; I.M. CHERTOK and E. DEL POZO (1989a): "Proton Flux energy spectral index determination at the Earth using the frequency spectra of microwave burst", **Idem**. 545-550.
- [7] DEL POZO, E. and I.M. CHERTOK (1995): "Proton Events Analysis and Proton Flux Prediction of the Period of 1987-1990 on Bases of the Havana Radioastronomic Station and the GOES satellites Observations", **Publication Stock of Institute of Documentation and Scientific and Technical Information (IDIC)**, In press.
- [8] VALIENTE, J.F. and E. DEL POZO (1995): "Solar Burst Diagnostic and Proton Flux Prediction in the Period from October 1991 to June 1993. Application", **Publication Stock of Institute of Documentation and Scientific and Technical Information (IDIC)**, In press.