

Características de los estallidos solares asociados a las regiones activas BBR No. 18422 y BBR No. 18474 en junio y julio de 1982

R. E. Rodríguez Taboada

Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Se compilan las características más importantes de las regiones activas BBR No. 18422 y 18474 en los rangos óptico, de radio y de rayos X. Se hizo un intento por obtener una descripción estadística de los procesos evolutivos de estos centros. Algunos aspectos indican una estructura muy cerrada y un descenso de la corona sobre la región activa durante su evolución.

PALABRAS CLAVE: regiones activas, radio, óptico, rayos X.

ABSTRACT

The more important characteristics of the BBR No. 18422 and 18474 active regions in the radio, optical and X-ray ranges are compiled. An attempt to obtain a statistical description of the development process for these centers was done. Some aspects indicate a very close magnetic structure and a lowering of the corona over the active region during its evolution.

KEY WORDS: active regions, radio, visible, X-rays.

1. INTRODUCCION

El complejo de actividad observado durante dos rotaciones solares en el período junio-julio de 1982, nombrado BBR No. 18422 y BBR No. 18474 (Clasificación de Big Bear, reportado en el boletín Solar Geophysical Data) fue uno de los más notables fenómenos del ciclo 21 de la actividad solar.

Este trabajo contiene la investigación estadística de las explosiones solares en microondas ocurridas en este complejo de actividad, según las observaciones con el radiopolarímetro de la Estación Radioastronómica de La Habana (E.R.H.) de la Academia de Ciencias de Cuba (Astrajan *et al.*, 1974). La E.R.H. lleva a cabo observaciones del programa internacional del "Servicio del Sol" en el intervalo de 13-23 horas de Tiempo Universal (U.T.) (Guelfreikh *et al.*, 1974).

La determinación de las coordenadas de las explosiones se llevó a efecto considerando la simultaneidad temporal de los destellos cromosféricos y las explosiones en microondas. De acuerdo con el Solar Geophysical Data (S.G.D.) en el intervalo de observación, en la región activa BBR No. 18422 en el período del 12 al 24 de junio de 1982 fueron registrados 68 destellos en Halfa, 13 de los cuales fueron de importancia mayor o igual a 1.

Para la región BBR No. 18474 en el período del 8 al 22 de julio de 1982 hubo 85 y 17 casos respectivamente. En la E.R.H. se observaron en total 45 explosiones en radioondas, 16 de las cuales concuerdan con destellos en Halfa, de importancia mayor o igual a 1.

No se identificaron dos casos debido a que ocurrieron destellos simultáneos en las regiones 18422 y 18426. Uno

de estos casos, registrado el 15 de junio (momento del máximo 15:12 U.I.), fue el más potente: con flujo máximo en el rango de los 2.0-4.5 cm, de aproximadamente 4 mil u.f.s. (Unidad de Flujo Solar).

En 26 casos no hubo observaciones polarimétricas y en 77 casos los destellos en Halfa no fueron acompañados de eventos en microondas, siendo tres de estos últimos casos de importancia mayor o igual a 1 (Tabla 1).

Tabla 1

Distribución de los destellos en Halfa según su intensidad

BBR No.	Importancia mayor o igual a 1	Número total de destellos
18422	13	68
18474	17	85

Los principales resultados de la investigación estadística de 45 explosiones observadas en las regiones activas BBR No. 18422 y 18474 con el radiopolarímetro de la E.R.H. son los siguientes:

1. Morfología

En la figura 1 se presentan los resultados de la comparación de los tipos morfológicos por observaciones en 2.0 y 4.5 cm de longitud de onda.

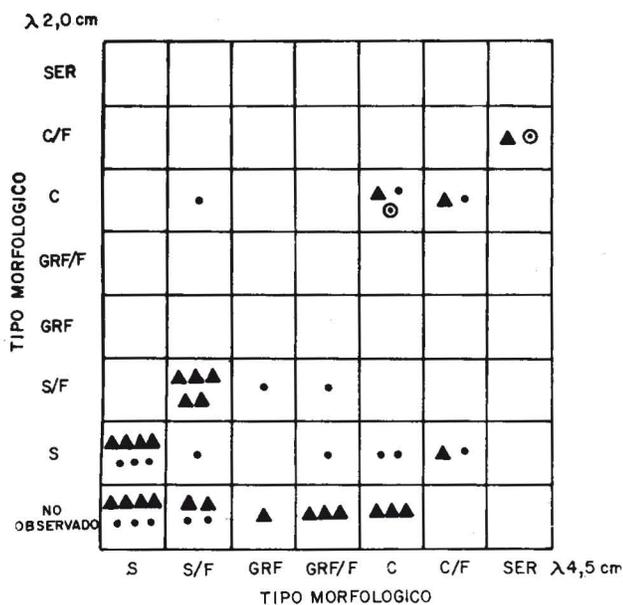


Fig. 1. Superposición de los tipos morfológicos en 2.0 y 4.5 cm para las explosiones ocurridas en las regiones BBR No. 18422 [o] y BBR No. 18474 [A].

Los casos señalados con círculos son los relacionados con el tipo G.B.

El análisis muestra que en el 33% de los casos el tipo morfológico es el mismo en ambas longitudes de onda, siendo el resto más complejo en 4.5 cm. Un porcentaje notable (33%) está formado por eventos que no fueron notados en la longitud de onda más corta ($F < 5 \text{ u.f.s.}$) aun en aquellos casos en que se reporta en 4.5 cm la observación de tipo "C" (3 casos).

En general esta dependencia es característica y ha sido notada por la E.R.H. en otras regiones activas. Un caso muy poco frecuente y que se excluye de esta ley es el del 13 de junio (momento del máximo 18:18 U.T.).

Este caso no sólo presenta un perfil más complejo en 2.0 cm que en 4.5 cm de longitud de onda, sino que se diferencia por una polarización compleja, cuyo signo cambia durante la vida del evento (lo que tampoco es un suceso frecuente). Esta explosión se acompañó de un destello Halfa de importancia 1B con flujos que alcanzaron el nivel del Sol tranquilo en ambas longitudes de onda.

2. ESPECTRO

Consideremos la dependencia espectral de la densidad de flujo (F^1) con la longitud de onda, en el momento del máximo (F_{max}). En este caso es necesario tener en cuenta que siempre existe alguna diferencia entre F_{max} en 2.0 y 4.5 cm. Los espectros obtenidos de esta forma tendrán un sentido físico claro si proponemos que las regiones de generación en diferentes longitudes de onda no coinciden espacialmente. El carácter del espectro puede verse claramente en el diagrama de la figura 2.

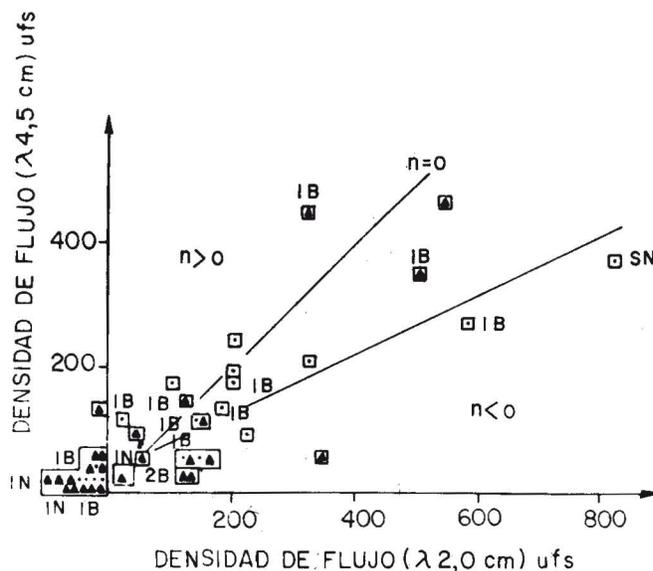


Fig. 2. Diagrama para la investigación del espectro en el momento del máximo (las designaciones, igual que para la figura 1).

En este diagrama se incluye una línea de regresión considerando todos los 45 casos y a modo de comparación la línea para índice espectral ($n = \text{Log} [F(f_1)/F(f_2)] / \text{Log} [f_1/f_2]$) igual a cero ($n = 0$). En la región de $F^1 (2.0 \text{ cm}) < 0$ se señalan los casos en que los flujos de las explosiones en la onda de 2.0 cm se encuentran por debajo del límite de detección.

De este diagrama es claro, teniendo en cuenta los casos no observados en 2.0 cm, que la mitad de las explosiones tienen un espectro caracterizado por flujos crecientes con la longitud de onda ($n > 0$). Este carácter espectral se observa en los espectros de las explosiones en otras regiones activas con aproximadamente igual frecuencia (Rodríguez, 1983).

3. INTENSIDAD DE LAS EXPLOSIONES

El análisis de los resultados de la figura 2 muestra que en la mayoría de los casos se observan explosiones no muy intensas: en el 84% de los casos F^1 no alcanza el nivel del Sol tranquilo. Sólo 4 casos caen en el intervalo 800-500 u.f.s. en 2.0 cm y en 4.5 el flujo nunca sobrepasa los 450 u.f.s. Para un complejo de actividad grande como el BBR No. 18422 y 18474 deben esperarse explosiones de gran intensidad. En relación con esto, tiene sentido considerar el ya mencionado evento del 15 de junio ($F_{\text{max}} \sim 4000 \text{ u.f.s.}$), que presenta cierta indeterminación en sus coordenadas. Esta explosión está caracterizada por dos grandes máximos, el primero de los cuales, con $F^1 \sim 3900 \text{ u.f.s.}$ ocurre simultáneamente con una llamarada de importancia 1B en BBR No. 18422 a las 14:15 U.T. Aproximadamente una hora más tarde (15:12 U.T.) fue observado el máximo principal, que coincide con una llamarada de importancia

2B en el BBR No. 18426. Se propone que estos eventos están relacionados, siendo posible entonces hablar de una aceleración complementaria de las partículas generadas en el primero de ellos en el campo magnético que une ambas regiones activas. De esta forma es posible explicar la alta intensidad del máximo principal.

4. POLARIZACION

La radioemisión de las explosiones en las regiones activas BBR No. 18422 y 18474 fue predominantemente de polarización circular derecha. Los resultados de la investigación del grado de polarización se muestran en forma de histograma (Fig. 3), donde se encuentran esquemas de las regiones durante el paso por el meridiano central (P.M.C.)

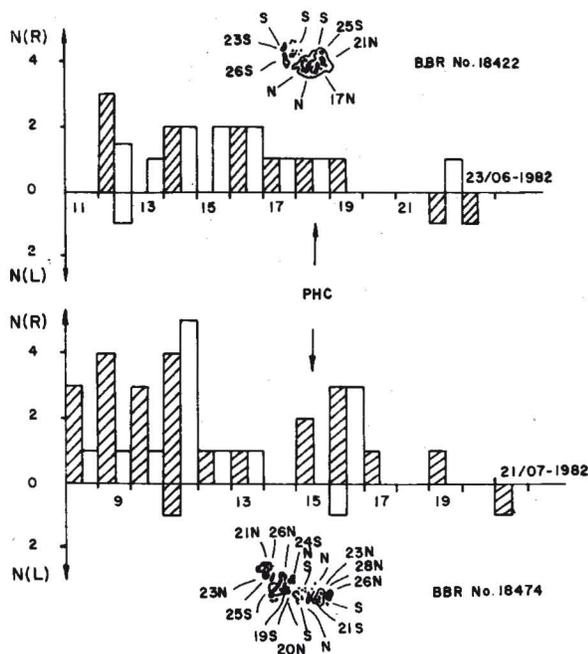


Fig. 3. Histograma del signo de la polarización de la radioemisión de las explosiones para 2.0 [0] y 4.5 [0] cm.

según las observaciones de la Estación Radioastronómica de Montaña (G.A.S.) del Observatorio Astronómico Principal de la A.U. de la URSS. La emisión polarizada de las explosiones concuerda cualitativamente con la morfología y distribución del campo magnético en BBR No. 18422. En la segunda rotación la situación no es tan clara debido a que la estructura del grupo aumentó su complejidad.

Se nota, en ambos casos, que el número de explosiones polarizadas disminuye al pasar el grupo al hemisferio W y que el número relativo de explosiones con polarización circular aumenta - especialmente en BBR No. 18422.

Todos estos resultados indican que las condiciones de propagación en el campo magnético cuasi-transversal (QT) actúan en la misma forma para la Componente S y las explosiones (Peterova *et al.*, 1977).

Dos explosiones requieren especial atención: la de 19.06.82 $T_{max} = 17:17U.T.$ y la de 10.07.82 $T_{max} = 19:49 U.T.$, cuyos perfiles de la emisión polarizada fueron más complejos en la longitud de onda más corta, fenómeno que no se encuentra con frecuencia. Esto nos permite proponer que la perturbación se propaga a lo largo de arcos coronales bajos, lo que en cierta manera se confirma en el carácter del espectro, especialmente el del segundo máximo ($n = -2.4$), aunque esta suposición entra en contradicción con la existencia de radioemisión en banda métrica.

Los resultados de la investigación del grado de polarización de las explosiones, sin tener en cuenta el signo, se presentan en la figura 4, donde en forma de Tabla se muestra el análisis de la distribución del grado de polarización.

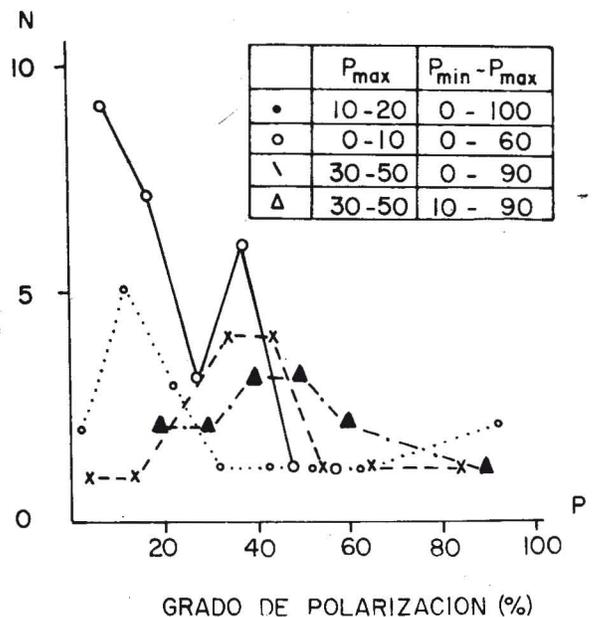


Fig. 4. Diagrama para la investigación del grado de polarización en las regiones BBR No. 18422 y BBR No. 18474 en 2.0 [X, A] y 4.5 [0.0] cm.

En la longitud de onda mayor está presente una tendencia a decrecer - en la segunda rotación del complejo de actividad - del grado de polarización, lo que puede ser interpretado como un lento calentamiento y descenso de la corona sobre la región activa durante su evolución, pero sin alcanzar los niveles más bajos donde el campo magnético es del orden de 2000 gauss, ya que en la longitud de onda más corta (2.0 cm) el grado de polarización no tuvo cambio.

Es imprescindible tener en cuenta que en la segunda rotación ocurre un aumento de la complejidad magnética del grupo y es posible que la misma induzca un decrecimiento del grado de polarización como resultado de un poder de resolución insuficiente de las observaciones.

5. RELACION CON LOS DESTELLOS CROMOSFERICOS

Como se dijo anteriormente, 77 destellos en Halfa no fueron acompañados de radioestallidos. En los casos restantes no existe relación entre la intensidad de los radioestallidos y la importancia del destello (figura 2). En esta figura se presentan todos los eventos con importancia mayor o igual a 1; como una excepción, se incluyó la importancia para el más potente radioestallido, que se corresponde con un subdestello Sn. Este resultado testifica que la naturaleza del agente directo que produce el destello cromosférico y el radioestallido son diferentes, aunque la fuente primaria de energía es claramente una sola.

6. RELACION CON LA RADIACION DE RAYOS X

Para explorar esta relación se usan las observaciones en el rango 1 - 8 Å publicados en el S.G.D. La superposición con los radioestallidos observados en la E.R.H. se muestra en la figura 5, en la que es posible ver que la emisión de rayos X y los flujos de radioemisión pueden cambiar en un orden de un caso a otro. Esta ausencia de correlación ya fue notada por otros autores (Korcharov *et al.*, 1983) en investigaciones semejantes; no obstante, existen reportes de correlación para el flujo integral en 4.5 cm en eventos de intensidad mayor de 200 u.f.s. (Pozo, 1989).

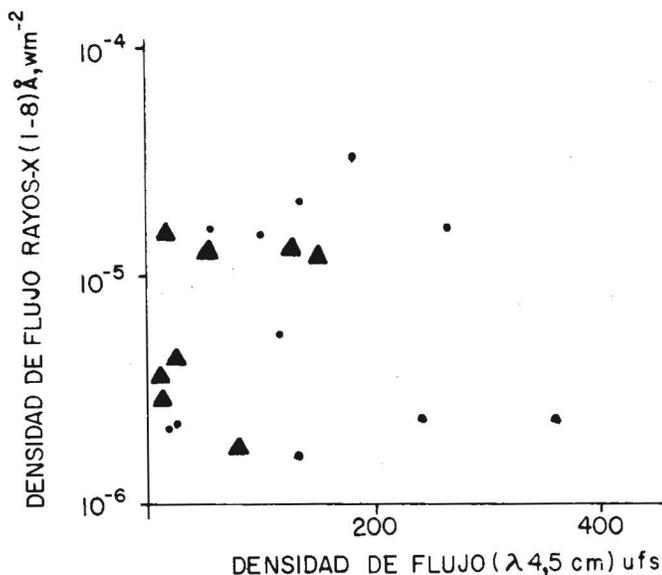


Fig. 5. Superposición de las intensidades de rayos X y de las explosiones (las designaciones, como en la figura 1).

Este resultado, por lo visto, testifica que la región de generación y sus mecanismos son diferentes para los rayos X y el radiodipasón al igual que para los destellos Halfa.

7. RETARDO ENTRE LOS MAXIMOS PARA LAS DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA

En la mayoría de los casos existe una diferencia de

tiempo entre el momento del máximo en 2.0 y en 4.5 cm de longitud de onda. Para los eventos complejos tipo SER, la magnitud de este retardo según una inspección formal de los datos puede alcanzar 1 - 2 minutos. La superposición de los perfiles de los radioestallidos muestra que esos casos no tienen sentido físico, ya que la comparación se realiza para detalles diferentes del radioestallido.

En los casos más simples, es mucho más pequeño. El resultado del análisis del retardo, sin incluir los radioestallidos tipo SER, así como los GRF se muestra en la figura 6.

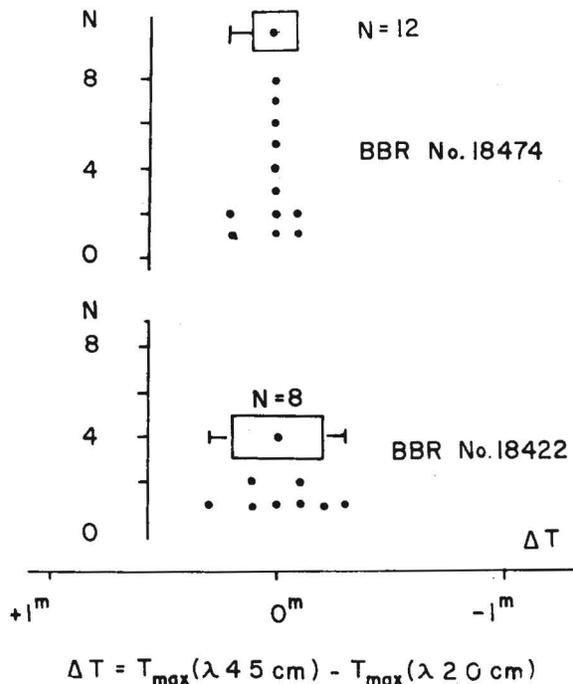


Fig. 6. Distribución del retardo entre los máximos de los eventos en 2.0 y 4.5 cm de longitud de onda.

En resumen, para las regiones BBR No. 18422 y BBR No. 18474 el retardo en tiempo es cercano a cero. Para una diferencia en tiempo de 0.01 min (estimada en 9 casos apropiados) y considerando el modelo de Uster (1963) para estimar las distancias entre los niveles girorresonantes, la perturbación se propaga hacia la corona con velocidad de aproximadamente 10^8 cm/seg. Los valores estimados se aproximan a la velocidad de Alfvén.

CONCLUSIONES

Bajo los resultados de esta investigación, es necesario recalcar que la actividad de los radioestallidos para las regiones BBR No. 18422 y 18474 no fue tan grande (por la intensidad de los radioestallidos) como era de esperarse para un complejo de actividad notable. Este hecho puede ser un indicador indirecto del carácter cerrado de la estructura a gran escala del campo magnético que estaría así aislado de los centros activos vecinos. Según esto, es posible que no existan condiciones para la aceleración complementaria de

las partículas en la magnetosfera del propio centro activo, así como en el campo que lo liga con centros activos alejados. En este enfoque debe incluirse también que según el S.G.D. en las regiones BBR No. 18422 y 18474 se observó un solo evento protónico el 9 de julio en 1 max 1/42 U.T. Esto también indica que las condiciones para la salida de partículas se vio dificultada.

Presenta interés el estudio detallado de aquellos radioestallidos con ciertas particularidades. De esta manera es posible una mayor comprensión de las regularidades generales, así como precisar nuestras suposiciones sobre la naturaleza de los radioestallidos. En la Tabla 2 se presenta una lista de fenómenos cuyo estudio complejo empleando material observacional original en el diapason óptico, de rayos X y de radio (con alta resolución espacial) sería muy conveniente.

Tabla 2

Casos cuyo análisis presenta interés especial		
Fecha	Hora del máximo	Característica
09.07.82	20:20 U.T.	Destello Haifa fuerte con radioestallido débil.
18.06.82	15:14	Destello Haifa débil acompañado de un radioestallido fuerte.
13.06.82	18:18	Morfología más compleja en la longitud de onda más corta.
15.06.82	15:12	Destellos simpatéticos.
19.06.82	17:17	Perfil de la radioemisión polarizada más compleja en la longitud de onda más corta.
19.07.82	19:45	
09.07.82	16:20	Destello Halfa de importancia igual a 1 en que no se detectó radioestallido en la longitud de onda más corta.

BIBLIOGRAFIA

- ASTRAJAN, M. I., B. Ya. GOLNIEV, N. G. PETEROVA, E. DEL POZO, S. SORIA y F. SOTO, 1974. "Solniechnie Dannie", No. 9, p. 74.
- GUELFREIKH, G. B., J. A. QUIÑONES, A. N. KORZHAVIN, J. PEREZ, J. SANTOS y M. A. CID, 1974. "Solniechnie Dannie", No. 9, p.82.
- KORCHAROV, G. E., G. A. MATVEEV, B. F. MELNIKOV, I. S. PODSTRIGACH y Yu. E. CHARIKOV, 1983. En: "Intensivnost Kosmicheskix Luchei i Kosmogenicheskaya Izotropiya", Material del "XIII Leningrad Seminar in Cosmophysics", F. I.1., Leningrad, p.9.
- USLER, L., 1963. Geo-Astrophysics Library, Preprint D1-82-0216.
- PETEROVA, N. G. y R. E. RODRIGUEZ, 1977. "Solniechnie Dannie", No. 2, p. 47.
- DEL POZO, E., 1989. "Relación entre los flujos en rayos X y en banda centimétrica". Materiales del "XIV Leningrad Seminar on Cosmophysics", Pulkovo.
- RODRIGUEZ, R. E., 1983. Ciencias de la Tierra y el Espacio, No. 6, p. 21.
-
- R. E. Rodríguez Taboada
*Instituto de Geofísica y Astronomía,
 Academia de Ciencias de Cuba
 Ave. 212 No. 2906
 La Lisa, La Habana, Cuba.*