

## UNA OBSERVACION DE RAYOS X EN LA ATMOSFERA DURANTE LA ERUPCION SOLAR DEL 7 DE AGOSTO DE 1972

H.S. GHIELMETTI\*, V.J. MUGHERLI e I.N. AZCARATE  
Instituto de Astronomía y Física del Espacio  
Buenos Aires, Argentina

Se describe una observación efectuada con un detector transportado por un globo estratosférico de un flujo adicional de rayos X secundarios ( $E \cong 30$  keV) que alcanzaron una gran profundidad atmosférica. Este exceso de radiación es atribuido a la emisión de rayos X de muy alta energía durante la erupción solar del 7 de agosto de 1972. Utilizando el método de Monte Carlo se calcula la propagación en la atmósfera de los fotones secundarios que resultan de sus interacciones electromagnéticas en el aire. Los cálculos muestran un buen acuerdo con la observación si se supone un espectro de los rayos X solares muy rico en la alta energía.

**It is described an observation with a balloon-borne detector of an additional flux of secondary X-rays. ( $E \cong 30$  keV) at great depths in the atmosphere. This radiation excess is attributed to the emission of very hard X-rays during the solar flare of August 7, 1972. Utilizing the Monte Carlo method the propagation in the atmosphere of the secondary photons resulting from their electromagnetic interactions in the air is computed. The computations agree with the observed flux if a very hard solar X-rays spectrum is assumed.**

\* De la Comisión Nacional de Energía Atómica.

## INTRODUCCION

Desde el descubrimiento de la emisión de rayos X duros en las erupciones solares (Peterson y Winckler, 1959) ha sido relativamente frecuente su observación, particularmente desde satélites artificiales (Arnóldy et al., 1968; Kane y Anderson, 1970; Frost y Denis, 1971) y con menor frecuencia con instrumental transportado por globos estratosféricos. Esta producción de rayos X es sólo uno de los aspectos del fenómeno y acompaña en distintas fases de su desarrollo, la emisión en la región visible y en ondas de radio. En particular, los perfiles temporales de la emisión en rayos X duros y la de microondas se superponen nítidamente y la producción de ambas radiaciones está íntimamente relacionada con los procesos de aceleración de electrones en el plasma de alta energía en la región de la erupción. En todos los casos detectados hasta ahora desde globos, el instrumental flotaba a profundidades atmosféricas de pocos  $g.cm^{-2}$  y la duración de los eventos al nivel de la observación no superó algunas decenas de segundos. Desde satélites, en cambio, existen algunos ejemplos en los que la emisión en energías de algunos centenares de keV duró varios minutos (Frost y Denis, 1971).

El evento que será considerado, ocurrido el 7 de agosto de 1972, tiene la particularidad de ser el primer caso en que rayos X secundarios resultantes de la emisión de rayos X solares se han observado hasta gran profundidad atmosférica, alcanzando los efectos una duración de varias decenas de minutos.

Durante la primera semana de agosto, la región solar McMath 11976 se mostró extraordinariamente activa siendo fuente de numerosas erupciones solares de distinta importancia, correlacionadas con efectos de gran intensidad observados en el espacio interplanetario y otros poco comunes que afectaron la atmósfera y la superficie terrestre en regiones de alta latitud geomagnética (McKinnon, 1972).

El 7 de agosto se produjo una de las erupciones más importantes de la serie, clasificada 3b. Según la observación clásica en  $H\alpha$  el fenómeno comenzó alrededor de las 15.00 T.U. y tuvo su máximo alrededor de las 15.30 T.U., siendo visible en luz blanca (Rust, 1972). En esta comunicación se presenta una observación efectuada con un instrumento muy simple transportado por un globo estratosférico que casualmente iniciaba su ascenso cuando comenzó esa erupción. Los satélites equipados con detectores de rayos X duros (OSO-7 y ESRO TD-1) cubrieron sólo parcialmente el fenómeno por hallarse eclipsados por la Tierra durante parte de su desarrollo.

## LA OBSERVACION

El globo estratosférico fue lanzado a las 14.35 T.U. del 7 de agosto desde El Chamical, La Rioja, transportando como parte secundaria de su carga, un detector simple. Este detector ha sido utilizado con anterioridad en numerosos vuelos (Ghielmetti et al, 1964; IAFE, 1972) por lo que su comportamiento a lo largo de la atmósfera, en condiciones normales de la actividad solar, es conocido con gran seguridad. El sistema está constituido por un telescopio de dos contadores Geiger-Müller de características distintas (Ghielmetti et al, 1964). Uno de

los contadores (G-M, Al) tiene una delgada pared de aluminio mientras que en el segundo (G-M, Bi) se agrega internamente un recubrimiento de bismuto. Del sistema se transmiten separadamente los contajes de cada contador y su doble coincidencia (telescopio).

En este vuelo particular, las curvas de crecimiento del contaje de uno de los contadores (Bi) y del telescopio, durante todo el ascenso, fueron normales comparadas con las de vuelos anteriores desde el mismo lugar. El contador de paredes de aluminio, en cambio, contó en exceso durante parte del ascenso. Este exceso de contaje se muestra en la Figura 1, promediado sobre intervalos de 5 minutos de duración. El exceso comienza a ser notable (estadísticamente) en el intervalo 15:10-15:15 T.U. y alcanza su máximo entre las 15.25 y 15.30 T.U. Un análisis temporal más fino indica que el flujo adicional desaparece bruscamente a las 15.59 T.U. cuando el contaje recupera valores próximos, aunque sistemáticamente menores en alrededor de un 2%, a los valores normales para alturas correspondientes. La característica más notable de la observación es que el exceso comienza a ser registrado cuando el detector se encontraba a una profundidad atmosférica de unos  $250 \text{ g.cm}^{-2}$ , equivalente a unos 10 km. de altura.

La erupción, observada en  $H_{\alpha}$  comienza alrededor de las 15.00 T.U. y alcanza su máximo aproximadamente a las 15.30 T.U. junto con el máximo de la emisión en radio, lo que muestra una significativa correlación temporal con la observación del detector transportado por el globo. Además, desde satélites, los detectores de rayos X, tanto blandos (SOLRAD 9 y 10) como duros (OSO-7 y ESRO TD-1) registraron sobre el mismo intervalo y aún posteriormente una intensa emisión de rayos X solares. Otros detectores de partículas cargadas (protones y electrones) mostraron también un intenso flujo de origen solar que alcanzó para los protones energías de algunos centenares de MeV lo que produjo un incremento en los registros de los monitores de neutrones ubicados a alta latitud geomagnética.

Los contadores del sistema utilizado en el vuelo tienen una eficiencia de casi el 100 % para la detección de partículas cargadas y no más del 1% para la radiación electromagnética (X y  $\gamma$ ). Sin embargo el fenómeno en consideración no puede atribuirse al primer tipo de radiación pues las partículas solares cargadas sólo alcanzaron regiones próximas a los polos, mientras que esta observación se realizó en un lugar cuyo corte geomagnético implica partículas primarias de energía superior a los 10 GeV

El hecho de que el exceso fuera observado sólo por el contador de aluminio, permite inferir la naturaleza de la radiación detectada. En efecto, aunque la eficiencia para la radiación X y  $\gamma$  es baja, este contador tiene una sensibilidad mayor que el de Bi para rayos X de energía inferior a unos 40 keV (Keppler, 1965). La atenuación en la atmósfera de rayos X solares de esas energías incidentes en su tope es tan alta a la profundidad considerada ( $> 100 \text{ g.cm}^{-2}$ ) que esta posibilidad debe descartarse. En lo que sigue se examinará la hipótesis de que los rayos X observados ( $E < 40 \text{ keV}$ ) son producto de la degradación, por sus interacciones en la atmósfera, de rayos X con energías de centenares de keV originados en la erupción solar. Para ello ha sido necesario considerar su propagación en la atmósfera con el objeto de deducir la intensidad de la fuente de esos fotones secundarios creados a distintas alturas y su contribución en el punto de observación.

### Cálculo de Monte Carlo

Los fotones X de baja energía que se observarían dentro de la atmósfera como consecuencia de la incidencia de un flujo adicional de origen solar, resultan de una multitud de interacciones sucesivas y su distribución espectral, y con la altura, son imposibles de obtener en forma analítica, por lo que se debe recurrir a una simulación estadística de los procesos físicos. Por la composición del aire: átomos de bajo número atómico, los rayos X de energía superior a unos 100 keV experimentan casi exclusivamente interacciones tipo Compton. Cuando su energía es degradada por debajo de unos 50 keV, los fotones pueden desaparecer por efecto fotoeléctrico. Para energías mucho mayores algunas interacciones resultan en la producción de pares electrón-positrón. Estos tres efectos han sido tenidos en cuenta en el cálculo de Monte Carlo para obtener la producción en función de la profundidad atmosférica de fotones de energía inferior a unos 40 keV que se suponen que son los que han contribuido al exceso de contaje observado.

En el cálculo de Monte Carlo se supone una atmósfera plana sobre la que inciden rayos X monocromáticos. Se han analizado dos casos en los que los fotones inciden perpendicularmente o con una inclinación de  $45^\circ$ . Este segundo caso se acerca a la situación real pues en la hora del evento aquí descrito la elevación del Sol era de unos  $45^\circ$ .

El diagrama de flujo del cálculo es muy similar al presentado en un trabajo que acompaña a éste (Mugherli y otros, 1976) por lo que no se repite aquí. Difiere en la información final entregada por el cómputo. En resumen, el cálculo provee el número de fotones **producidos** en capas de atmósfera de  $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$  de espesor en función de la profundidad atmosférica  $x$ . Como salida secundaria, que no discutiremos en esta comunicación, provee también la distribución espectral de los fotones de albedo, que reemergen en el hemisferio de incidencia.

Los resultados globales para incidencia  $45^\circ$  se dan en la Tabla 1 para energías primarias entre 100 keV y 5 MeV. De la Tabla 1 surge claramente lo complejo de la situación real pues es obvio el alto promedio de interacciones producidas por cada fotón incidente. Por otra parte se observa que la duración del cálculo es considerable (más de 1/2 hora de máquina para cada energía) por lo que el programa ha debido ser limitado en su contenido. Por ejemplo, los electrones que resultan en cada interacción Compton no han sido seguidos en su andar posterior y por lo tanto no se incluye en la producción su radiación de frenado. La inclusión de este efecto hubiese prolongado considerablemente la duración de cada cálculo considerando las características de la computadora empleada (IBM/360).

La producción por cada fotón incidente, calculada en función de la profundidad atmosférica se da en la Figura 2. De ella surge que para energías primarias crecientes aumenta la producción relativa a profundidades grandes.

### Cálculo de la Función Fuente $S(X)$

El cálculo de Monte Carlo proporciona el número  $n(E, x)$  de fotones de energía entre 20 y 40 KeV producidos en una capa de espesor  $dx$  ( $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) a la profundidad  $x$  originados por  $N$  fotones de energía  $E$  incidentes al tope de la

atmósfera ( $N=n^\circ$  de historias simuladas en el cálculo). Con esta información básica puede construirse, como veremos, la función fuente  $S(x)$  de por lo menos, una fracción considerable de los fotones que contribuirán al exceso de contaje observado por el contador de Al.

Considerando incidencia normal, y suponiendo que en cada capa de espesor  $dx$  la producción por cada fotón incidente en el tope es uniforme y se extiende sobre un círculo de radio  $R(E,x)$  alrededor de la dirección de incidencia, vale la relación

$$\pi R^2(E,x) P(E,x) dx = \left[ \frac{n(E,x)}{N} \right]_{MC} \quad (1)$$

donde  $P(E,x)$  es el número de fotones (20-40 keV) generados por cada fotón incidente de energía  $E$  y por cada gramo de aire. El segundo miembro es el resultado del cálculo de Monte Carlo. Considerando la densidad del aire  $\rho(x)$ , la producción por unidad de volumen a la profundidad atmosférica  $x$  es dada por:

$$\rho(x) P(E,x) = \frac{\rho(x)}{\pi R^2 dx} \left[ \frac{n(E,x)}{N} \right]_{MC} \left( \frac{\text{fot}}{\text{fot}_i \cdot \text{cm}^3} \right) \quad (2)$$

A la fuente de fotones (20-40 keV) en cada punto de la atmósfera contribuirán los fotones primarios incidentes en un círculo de radio  $R(E,x)$  centrado alrededor de la vertical que pasa por el punto en consideración. Por lo tanto la fuente puntual  $S(x)$  se obtiene de

$$S(x) = \int_{E_{\min}}^{\infty} \int_S \rho(x) P(E,x) J(E) dS dE \left( \frac{\text{fot}}{\text{cm}^3} \right) \quad (3)$$

donde  $dS$  es un elemento de área en el tope de la atmósfera y  $J(E)$  es el espectro diferencial de los rayos X solares.

### Flujo de Fotones a Gran Profundidad

El cálculo del flujo de fotones de baja energía ( $E < 40$  keV) a gran profundidad atmosférica depende de la función fuente y ésta, a su vez, depende fuertemente del flujo y forma espectral de los rayos X solares.

En base a los cálculos de Monte Carlo para varias energías se ha deducido la dependencia con  $x$  de la función producción  $P(E,x)$ . Como el exceso se ha observado a gran profundidad atmosférica ( $70 < x < 250$  g.cm<sup>-2</sup>) y la atenuación de los fotones secundarios de baja energía es grande (longitud de atenuación  $\approx 10$  g.cm<sup>-2</sup> para el rango 10-40 keV), esto restringe el cálculo a la contribución de las capas atmosféricas próximas al nivel de observación por lo que, como surge

de la Figura 2, la función producción puede aproximarse por una ley exponencial  $k(E) \cdot e^{-x/l(E)}$  cuyos parámetros, dependientes de E, se ajustan con los valores resultantes del cálculo de Monte Carlo.

El espectro de los rayos X solares puede aproximarse por una ley potencial  $AE^{-\alpha}$ , por lo que la función fuente resultará

$$S(x) = A \int_{E_{\min}}^{\infty} k(E) e^{-\frac{x}{l(E)}} E^{-\alpha} dE \quad (4)$$

Para profundidades grandes a su vez  $S(x)$  puede ajustarse empíricamente por una función exponencial  $K(\alpha) \cdot e^{-x/L(\alpha)}$  donde ahora K y la longitud de atenuación L dependen fuertemente del exponente  $\alpha$  del espectro solar. El flujo a una profundidad x, se calcula entonces con

$$F(x) = \frac{AK}{2} \int_0^{\pi/2} \left[ \int_0^x e^{-\frac{x'}{L}} e^{-\frac{\mu(x-x')}{\cos\theta}} dx' + \int_x^{\infty} e^{-\frac{x'}{L}} e^{-\frac{\mu(x'-x)}{\cos\theta}} \right] \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \cdot d\theta \quad (5)$$

donde  $\mu$  ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) es el coeficiente de atenuación de los fotones ( $E < 40 \text{ keV}$ ) producidos. Integrando resulta

$$F(x) = \frac{AK}{2\mu} e^{-\frac{x}{L}} \left[ L\mu \ln \frac{L\mu + 1}{L\mu - 1} - e^{-\frac{x}{L}} \mu x \int_{\mu x}^{\infty} \frac{e^{-y} dy}{y(y-x/L)} \right] \quad (6)$$

El flujo máximo observado alrededor de una profundidad de unos  $150 \text{ g.cm}^{-2}$ , se estima entre  $1$  y  $10 \text{ fot.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}$  ( $E < 40 \text{ keV}$ ) y para la comparación con los valores calculados es necesario adoptar valores para A y  $\alpha$ . Lamentablemente no se ha publicado la observación de un espectro detallado de los rayos X duros durante el máximo de la emisión solar. La información disponible será analizada más adelante.

Valores típicos del exponente  $\alpha$  observados en algunos casos aislados y sin mayor resolución espectral varían entre 3 y 4, para la región de los X más duros ( $E > 100 \text{ keV}$ ). Para la erupción del 2 de agosto de 1972 de importancia 1B, el espectro observado por Datlowe y Peterson (1973) en el rango 10-300 keV se ajusta con  $1.5 \times 10^7 E^{-3.7} \text{ fot.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}.\text{keV}^{-1}$  y para la erupción del 4 de agosto varias muestras espectrales tomadas por van Beck (1973) para  $E > 75 \text{ keV}$ , dan leyes comprendidas entre  $1,6 \cdot 10^{10} \cdot E^{-5.1}$  y  $2,9 \cdot 10^6 \cdot E^{-3.2} \text{ fot.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}.\text{keV}^{-1}$ . Aunque, la emisión total en X de este último caso lo ubica entre los mayores observados, el fenómeno del 7 de agosto lo superó por un factor considerable. Así la emisión en el rango de los rayos X blandos, observada por los satélites SOLRAD 9 y 10 lleva a una estimación de cerca de  $1 \text{ erg.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ .

(Dère et al. 1973).

Por otra parte es actualmente aceptado que en algunos casos por lo menos la emisión de rayos X duros, de origen no-térmico, se lleva a cabo en dos etapas sucesivas que revelan dos mecanismos de aceleración de los electrones que los generan como radiación de frenado (Frost y Dennis, 1971). El espectro en la segunda fase es más duro, es decir relativamente más rico en altas energías. Como se dice más arriba, los valores de  $\alpha$  determinados en algunos casos aislados varían entre 3 y 4 aunque en el evento detectado en marzo de 1969 por el OSO-5 (Frost y Dennis, 1971), el espectro medido en la segunda fase se ajusta con  $\alpha \approx 2$ , por lo menos hasta los 250 keV. Todo esto indica que es difícil adoptar valores para los parámetros A y  $\alpha$  del flujo solar a menos que se disponga de una determinación simultánea con el fenómeno en consideración.

La erupción del 7 de agosto ha sido sólo parcialmente cubierta por los detectores de rayos X duros instalados en el OSO-7 y ESRO TD-1. El primer satélite estaba eclipsado por la Tierra durante el máximo de la erupción y comenzó a observar el Sol a las 15:36 T.U. El segundo observó el Sol durante 9 minutos a partir de las 15:13:30 T.U. penetrando a la región de Van Allen durante el máximo en  $H_{\alpha}$ . En este caso los datos publicados corresponden a los contajes integrales de tres de los canales del analizador (35-46, 61-87 y 231-317 keV). Con la ayuda de la función respuesta del detector (Van Beck, 1973) se deduce que los contajes máximos observados alrededor de las 15:21:30 T.U. son compatibles con  $10^7 E^{-3}$ . A pesar de que cuando el detector penetra en la región de Van Allen el fondo instrumental cambia considerablemente, haciendo algunas correcciones gruesas se puede concluir que el contaje de los primeros canales son compatibles con un espectro mucho más duro ( $\alpha = 1-2$ ).

Frente a la incertidumbre sobre el verdadero espectro de los rayos X duros emitidas durante la erupción considerada y la variabilidad de sus parámetros, se han ensayado distintos valores del exponente estimando el valor de A necesario para obtener un flujo secundario (20-40 keV) como el observado dentro de la atmósfera, tomando por ejemplo su valor entre las 15:25 y 15:30 ( $F(150) = 1-10 \text{ fot.cm}^{-2} \text{ seg}^{-1}$ ). En la Tabla 2 se dan los valores resultantes.

Para  $\alpha \leq 3$  los valores de A, aunque mayores que los que se deducen en observaciones anteriores, no pueden considerarse imposibles si se tiene en cuenta que el evento en consideración es posiblemente el más intenso observado por distintos medios en la región de los rayos X. Esto es apoyado por lo extraordinario de otras observaciones, por ejemplo, de la absorción ionosférica del ruido cósmico (CNA) observada en Neustrelitz (Knuth y Ohle, 1973) que supera la del 4 de agosto y además es la mayor detectada en 13 años desde la instalación del instrumento.

## CONCLUSIONES

La interpretación de que el exceso de radiación X secundaria observada a gran profundidad atmosférica (desde una altura equivalente cercana a los 10 km) se origina en rayos X solares se apoya en: a) la coincidencia temporal de la observación con el fenómeno solar y lo extraordinario de este último, por la energía liberada, su duración y sus otros efectos terrestres y b) los resultados del

Método de Monte Carlo que muestran cuantitativamente que para un espectro suficientemente duro ( $\alpha \leq 3$ ) y suficientemente intenso (A grande) compatible con el fenómeno solar, la producción de radiación secundaria de baja energía puede alcanzar valores de flujo observable a gran profundidad.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales por su apoyo a los lanzamientos efectuados en Chamical, La Rioja, en agosto de 1972. Y a las autoridades de la Base Aérea de Chamical por su hospitalidad durante la Campaña.



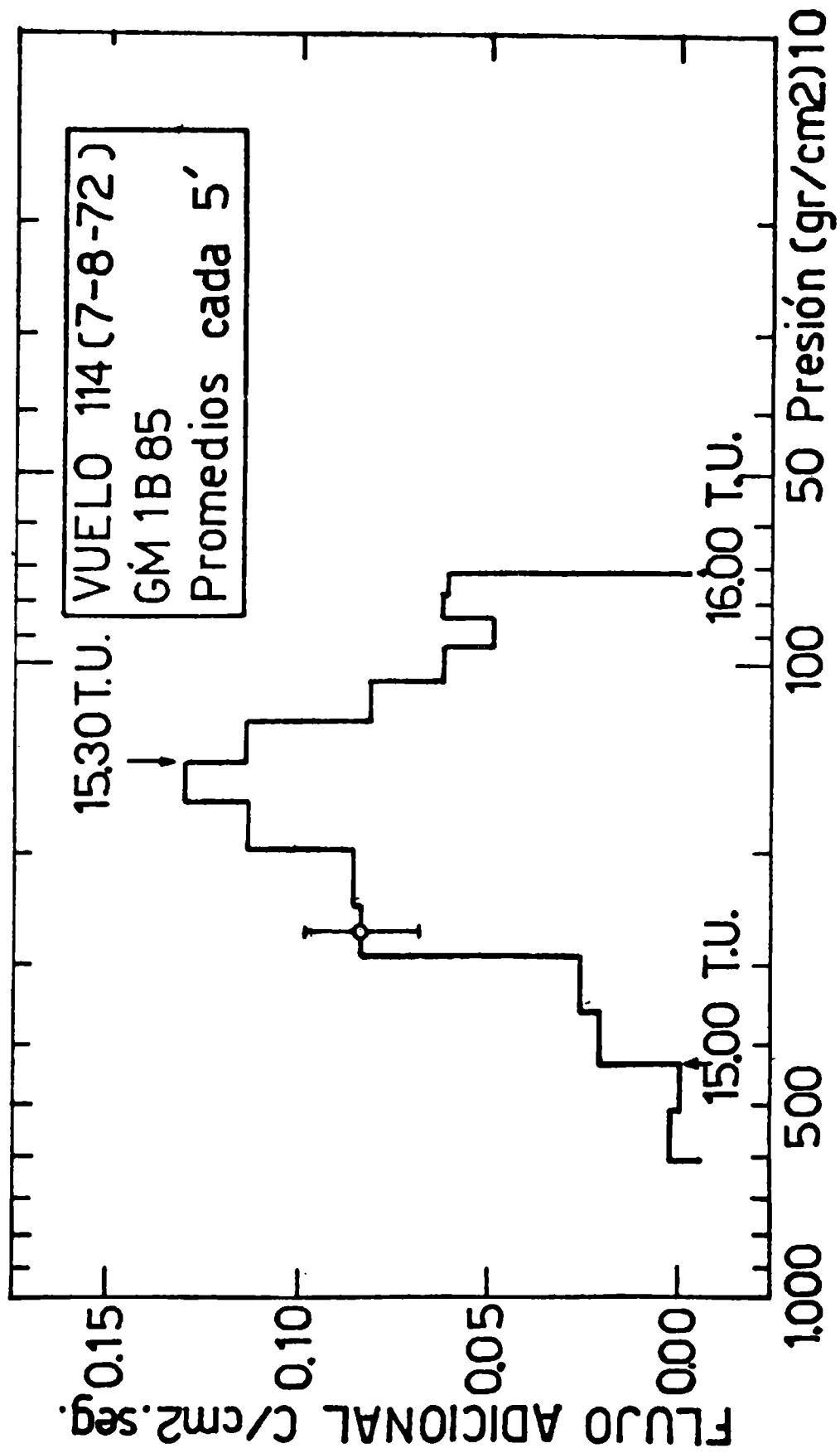


Figura 1 - Exceso de contaje en el contador de Al en función de la profundidad atmosférica.

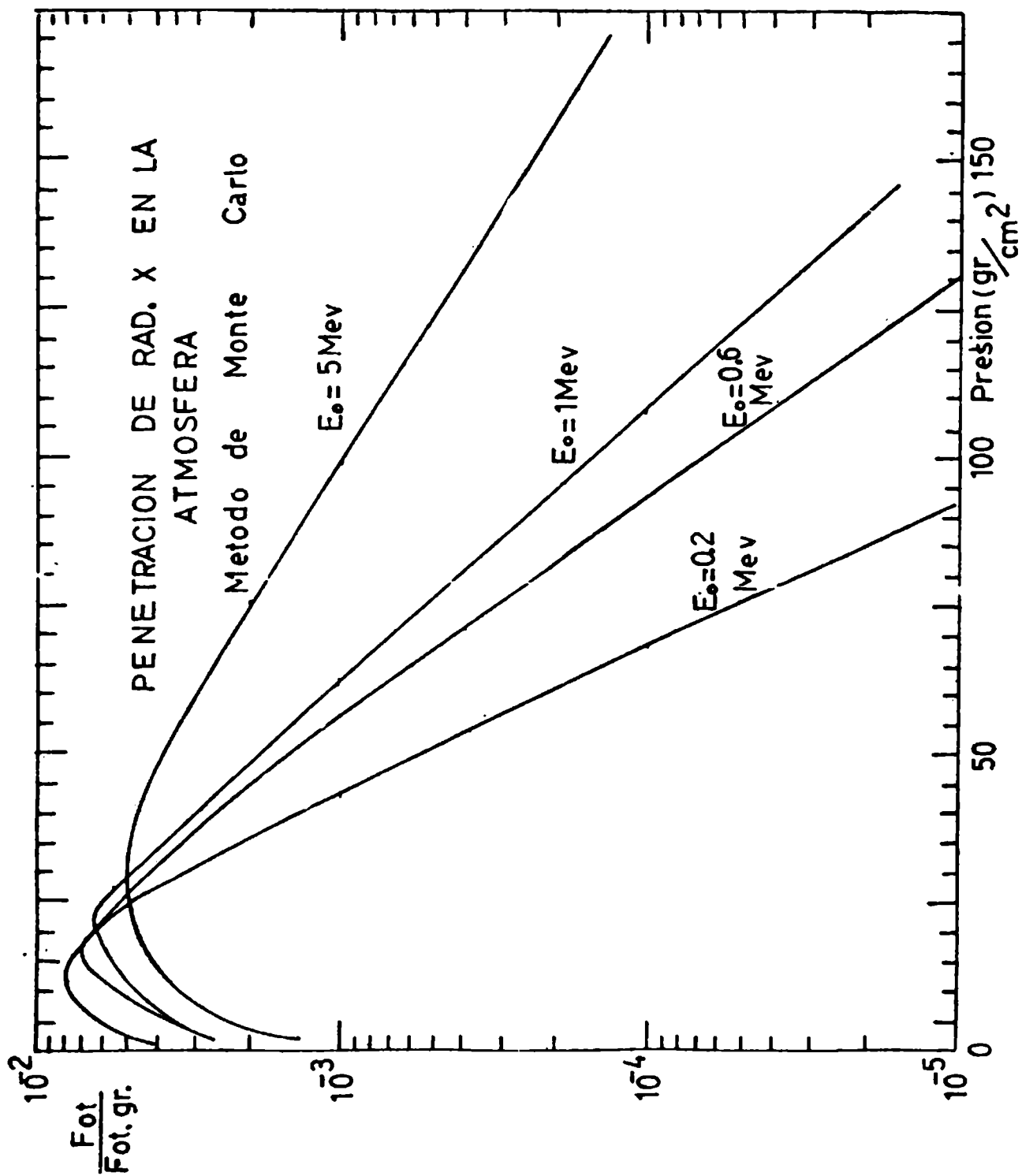


Figura 2 — Función producción para distintas energías de los rayos X incidentes.

MONTE CARLO – PROPAGACION RAD. X – ATMOSF. PLANA –						
INCIDENCIA 45° $E_{INF} = 20 \text{ keV}$ $E_{SUP} = 40 \text{ keV}$						
	ENERGIA INCIDENTE (Mev)					
	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	5.0
Nº de Historias	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^4$
Nº Fot. 20-40 keV Creados	2.060	2.039	2.076	2.224	2.545	3.418
Nº Int. Fotoelec.	3.523	3.251	3.415	3.566	3.893	5.223
Nº Int. Compton	47.931	65.893	79.479	86.799	96.917	124.993
Nº Int. C. Pares	0	0	0	0	0	1.088
Albedo Integrado	4.417	4.710	4.509	4.210	3.562	2.447
Tiempo de Cálculo	30 <sup>m</sup>	59 <sup>s</sup>	22 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	24 <sup>m</sup>	26 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	33 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup>

Tabla 1 – Resultados globales del cálculo de Monte Carlo para distintas energías de los rayos X incidentes.

$\alpha$	A ( $\Phi = 1-10$ fot. $\text{cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ )
2.0	$6.0 \times 10^{5-6}$
2.5	$4.2 \times 10^{7-8}$
3.0	$2.0 \times 10^{9-10}$
3.5	$7.3 \times 10^{10-11}$
4.0	$2.1 \times 10^{12-13}$

Tabla 2 — Valores estimados del coeficiente A en el flujo de rayos X solares para reproducir el flujo observado dentro de la atmósfera, calculados con distintos valores del exponente  $\alpha$ .

## BIBLIOGRAFIA

- ARNOLDY, R.L., KANE, S.R. and WINCKLER, J.R. 1968: Energetic solar flare X-rays observed by satellite and their correlation with solar radio and energetic particle emission; *Ap. J.*, v. 151, n. 2, p. 711-736.
- DATLOWE, D.W. and PETERSON, L.E. 1973: OSO-7 observations of solar X-ray bursts from 28 July to 9 August 1972; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG-28, Part II*, p. 291-295.
- DERE, K.P., HORAN, D.M. and KREPLIN, R.W. 1973: Solar X-ray emission measured by SOLRADS 9 and 10 during the period July 26-August 14, 1972; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG-28, Part II*, p. 298-318.
- FROST, K.J. and DENIS, B.R. 1971: Evidence for hard X-rays from two-stage acceleration in a solar flare; *Ap. J.*, v. 165, p. 655-659.
- GHIELMETTI, H.S., GODEL, A.M. y ROEDERER, J.G. 1964: High altitude cosmic ray intensity measurement at low geomagnetic latitudes. Part I: Low weight equipment for cosmic ray detection; *SPARMO Bulletin n. 2*, p. 1-7.
- IAFE, 1972: Resultados de mediciones con globos estratosféricos; *Publicaciones de Registros n. 1*.
- KANE, S.R. and ANDERSON, K.A. 1970: Spectral characteristics of impulsive solar flare X-rays  $\geq 10$  keV; *Ap. J.*, v. 162, p. 1003-1018.
- KEPPLER, E. 1965: Zur Interpretation von Röntgenstrahlungsmessungen in Ballonhöhe in der Nordlichtzone; *Mitteilungen aus dem Max-Planck-Institut für Aeronomie*, v. 20, p. 29-61.
- KNUTH, R. and OHLE, K.H. 1973: SID effects during July/August event 1972; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG-18 Part II*, p. 574-578.
- McKINNON, J.A. 1972: August 1972 solar activity and related geophysical effects; *NOAA Technical Memorandum ERL SEL-22*.
- MUGHERLI, V.J., AZCARATE, I.N. y GHIELMETTI, H.S. 1976: Transmisión de un colimador de plomo para radiación gama de alta energía. *Geoacta*, V. 8, n. 1 págs. 129 a 145.
- PETERSON, L.E. and WINCKLER, J.R. 1959: Gamma ray burst from a solar flare; *J. of Geophysical Research*, v. 64, p. 697-707.
- RUST, D.M. 1972: The great flares of August 1972; *Sky and Telescope*, v. 44, p. 226-230.
- VAN BECK, H.F. 1973: Development and performance of solar hard X-ray spectrometer: Tesis, Universidad de Utrecht.
- VAN BECK, H.F., HOYNG, P. and STEVENS, G.A. 1973: Solar flares observed by the hard X-ray spectrometer on board the ESRO TD-1A satellite; *Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events, Report UAG 28, Part. II*, p. 319-324.