

# Variabilidad estacional y con la actividad solar de las tormentas geomagnéticas

Gustavo A. Mansilla<sup>1,2</sup> & Marta M. Zossi<sup>1,2</sup>

(1) *Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán*

(2) *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*  
[gmansilla@herrera.unt.edu.ar](mailto:gmansilla@herrera.unt.edu.ar); [mzossi@herrera.unt.edu.ar](mailto:mzossi@herrera.unt.edu.ar)

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es mostrar la distribución estacional y también con el ciclo solar, de las tormentas geomagnéticas que presentan un comienzo súbito o repentino. Para ello, se analiza el período de 1953 al 2008, que comprende cuatro ciclos solares (20 al 24). Se observa una correlación entre el número de tormentas que ocurren cada mes y el valor mensual del número de manchas solares (indicativo de la actividad solar). Por otro lado, se encuentra una pronunciada variación estacional en la ocurrencia de tormentas geomagnéticas intensas y ninguna dependencia para las tormentas geomagnéticas moderadas, las que se producen con mayor frecuencia que las intensas.

## 1 INTRODUCCIÓN

En analogía con las tormentas atmosféricas en la superficie de la Tierra, a las perturbaciones que se producen en el campo magnético terrestre, debidas a perturbaciones de origen solar, se las llama tormentas geomagnéticas.

La mayoría de las tormentas geomagnéticas comienza con el arribo de un viento solar intensificado a la magnetosfera terrestre, que llega de manera súbita o repentina. Durante este tiempo, la intensidad del campo geomagnético se incrementa, resultando positiva la componente horizontal  $H$  del campo. Tales impulsos repentinos precediendo las tormentas geomagnéticas se llaman comienzos súbitos de las tormentas (cs). Una tormenta geomagnética clásica consiste en tres fases: 1) un aumento del campo magnético terrestre que dura unas pocas horas (fase inicial); 2) una disminución pronunciada en la componente horizontal  $H$ , alcanzando un máximo (negativo) en aproximadamente un día (fase principal); 3) una lenta recuperación en  $H$  hasta alcanzar valores normales (previos a los de la tormenta), que puede durar varios días (fase de recuperación).

Existe otro tipo de tormentas geomagnéticas en las que el comienzo no es muy evidente, es decir, son tormentas que comienzan gradualmente. Este tipo de tormentas, menos frecuente, no se consideran en el presente trabajo.

Los valores de la variación promedio global de la componente de baja latitud  $H$  se representan por el índice geomagnético  $Dst$ , que es una medida de la intensidad de la corriente de anillo (formado principalmente por protones e iones oxígeno derivando al oeste y electrones derivando hacia el

este). La intensidad de las tormentas geomagnéticas se establece, por lo general, por la magnitud del índice  $Dst$ .

El rango de valores observados de  $Dst$  varía de aproximadamente 100 nT a -600 nT. Tormentas intensas son las que alcanzan un  $Dst$  mínimo de -100 nT o menor, tormentas moderadas con  $Dst$  mínimo entre -50 y -100 nT y tormentas débiles con  $Dst$  mínimo entre -30 y -50 nT (Sugiura and Chapman, 1960).

El objetivo de este trabajo es mostrar la variación con el ciclo solar que presentan las tormentas geomagnéticas con comienzo súbito (cs), como así también la distribución estacional de las mismas. El período considerado comprende del año 1953 al 2008, que corresponde a cuatro ciclos solares (20, 21, 22 y 23).

## 2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cs de las tormentas consideradas han sido obtenidos del World Data Center for Solar-Terrestrial Physics (Russian Academy of Sciences-Geophysical Center), en tanto que el índice geomagnético  $Dst$  se obtuvo del World Data Center for Geomagnetism (Kyoto, Japón).

La Figura 1 presenta un ejemplo de la variación del índice  $Dst$  durante una tormenta geomagnética intensa ( $Dst$  mínimo = -216 nT), donde se pueden ver las diferentes fases de la tormenta (inicial, principal y de recuperación). En la figura, la flecha indica el comienzo súbito.

La Figura 2 muestra el número de tormentas con inicio súbito por mes  $N$  y para indicar la actividad solar, el número de manchas solares mensuales, para el período 1953-2008 (línea continua). Se puede observar que el número de tormentas por

El número de tormentas geomagnéticas intensas ( $N_{100}$ ) se producen cerca del máximo solar y los valores mínimos de  $N_{100}$  se presentan durante la fase descendente del ciclo solar. Estos resultados no han sido verificados previamente para el ciclo solar 23 (Mansilla y Zossi, 2006).

La Figura 3 muestra la distribución estacional de las tormentas geomagnéticas intensas ( $Dst$  mínimo  $< -100$  nT), en porcentaje, que se produjeron dentro de los cuatro ciclos solares: 20 (1965-1975), 21 (1976-1986), 22 (1987-1997) y 23 (1998-2008). Se puede observar una marcada dependencia estacional, con máximos alrededor de los dos equinoccios y mínimos alrededor de los solsticios, principalmente durante el ciclo 22.

La Figura 4 es similar a la Figura 3, pero para las tormentas geomagnéticas moderadas ( $Dst$  mínimo entre  $-50$  nT y  $-100$  nT). Se puede ver que, en general, en este tipo de tormentas no se observa la modulación estacional encontrada para tormentas intensas (excepto para el ciclo solar 23). La distribución fluctuante sugiere ninguna dependencia con la actividad magnética.

La velocidad del viento solar probablemente contribuye en el incremento de tormentas observado cerca del máximo de actividad solar, ya que se ha encontrado que los promedios anuales de la velocidad del viento solar (y también la temperatura del plasma del viento solar) exhiben variaciones periódicas de 11 años (Nakai y Kamide, 1994).

Por otro lado, aunque es conocido que la actividad geomagnética tiene una variabilidad estacional con máximos en los equinoccios, como consecuencia del ángulo entre el eje de rotación solar y el dipolo geomagnético (Russell y McPherron, 1973), sin embargo todavía no hay consenso acerca del origen de la distribución estacional de las tormentas intensas (Gonzalez y otros, 1994).

Algunos investigadores sugieren que la variación semianual en la ocurrencia de tormentas geomagnéticas intensas puede tener otras causas, además de una intensificación del efecto Russell-McPherron. La magnetosfera en sí misma podría contribuir al perder su eficiencia de acoplamiento en los solsticios (por ejemplo, Crooker y Siscoe, 1986; Cliver y Crooker, 1992).

### 3 CONCLUSIONES

En este breve artículo se presentan algunos aspectos de las tormentas geomagnéticas que tienen un comienzo súbito o repentino. Los resultados obtenidos tienen claras implicaciones de pronóstico, y se pueden resumir de la siguiente manera:

- La mayor densidad de tormentas geomagnéticas se produce alrededor del máximo del ciclo solar y durante la fase descendente del mismo.
- Los resultados sugieren que existe una mayor probabilidad de que se produzcan tormentas geomagnéticas intensas en los equinoccios que en los solsticios.
- La frecuencia de ocurrencia de tormentas intensas es menor que la de tormentas moderadas, en todos los ciclos solares.

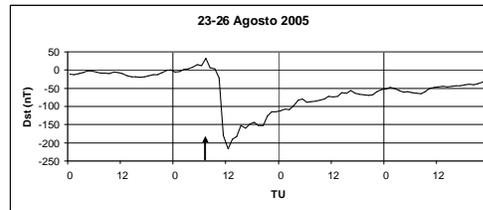


Figura 1: Ejemplo de variación de  $Dst$  durante una tormenta geomagnética. Se pueden ver la fase inicial (flecha), la fase principal (decaimiento de  $Dst$  hasta un valor mínimo) y posteriormente, la fase de recuperación.

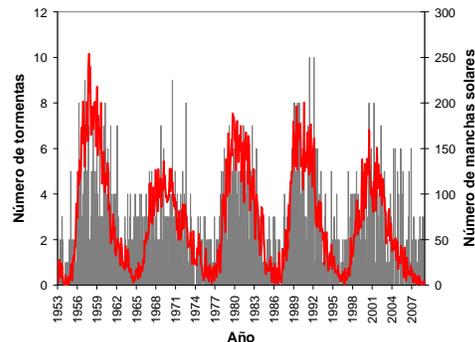


Figura 2: Número de tormentas geomagnéticas con comienzo súbito (CS) o repentino y número de manchas solares por mes (línea llena) para el período 1953-2008.

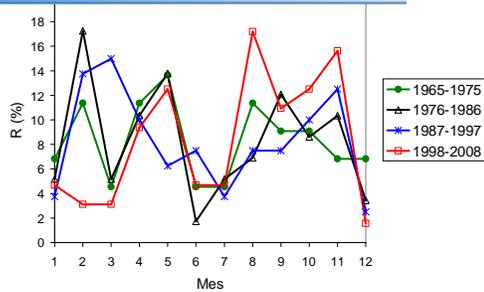


Figura 3: Variación estacional de tormentas geomagnéticas intensas que presentan cs, durante los ciclos solares 20 (1965-1975), 21 (1976-1986) y 22 (1987-1997) y 23 (1998-2008). Se puede ver que en los 4 ciclos solares considerados existe una tendencia similar.

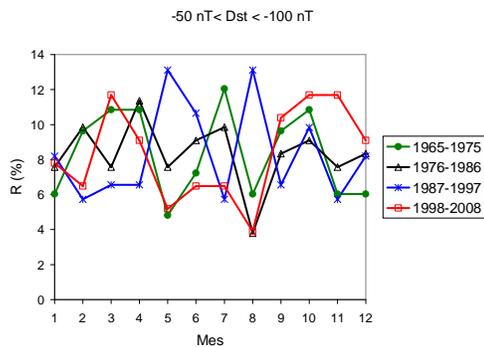


Figura 4: Idem a la Figura 3, pero para tormentas geomagnéticas moderadas. En general no se observa ninguna tendencia (excepto para el ciclo solar 23).

## REFERENCIAS

- Cliver, E.W. and N.U. Crooker, A seasonal dependence for the geoeffectiveness of eruptive solar events, *Proc. of Solar-Terrestrial Predictions IV (Ottawa-Canada)*, 3, 98, 1992.
- Crooker, N.U. and G.L. Siscoe, On the limits of energy transfer through dayside merging, *J. Geophys. Res.*, 91, 13393, 1986.
- Gonzalez, W.D., A.L.C. Gonzalez and B.T. Tsurutani, Dual-peak solar cycle distribution of intense geomagnetic storms, *Planet. Space Sci.*, 38, 181, 1990.
- Mansilla G. A. y Zossi M., Distribución horaria y dependencia con la actividad solar de tormentas geomagnéticas con comienzo súbito, *Actas de las 2º Jornadas Regionales de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA*, 2006.
- Nakai H. y Kamide Y., Estimating the long-term variations of the magnetotail pressure, *J. Geophys. Res.*, 99, 747, 1994.
- Russell, C.T. and R.L. McPherron, Semiannual variation of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 78, 92, 1973.
- Sugiura M. y Chapman S., The average morphology of geomagnetic storms with sudden commencement, *Abandl. Akad. Wiss., Gottingen Math. Phys.*, K1(4), 1960.