

EFFECTOS GEOMAGNÉTICOS RELACIONADOS CON CAMBIOS EN LA ROTACIÓN TERRESTRE

Julio César Gianibelli y Raúl Perdomo

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
Paseo del Bosque s/n.
(1900) La Plata.

ABSTRACT. The interaction between the interplanetary medium, the geomagnetic field jerks and the Earth's rotation is studied. The changes in the solar wind-magnetosphere electromagnetic coupling are evidenced by the geomagnetic activity, which is also correlated with the changes in the length of day (L. o. D.) for periods larger than tree months. The results also exhibit the effects of the geomagnetic field jerks as a result of a variation in the coupling between the Earth's lower mantle and the exterior core.

INTRODUCCIÓN

Los factores que perturban la rotación terrestre provienen de las fuentes de energía interna y mecánica y de interacciones gravitacionales y radiativas con otros cuerpos celestes: Luna y Sol. Las partes sólidas de la tierra formadas por la corteza, incluyendo la nieve y el hielo, el manto y el núcleo interno; como así mismo las partes fluidas representadas por la hidrósfera, atmósfera, y núcleo externo con su campo magnético, juegan un rol importante en la fenomenología de las interacciones y acoplamientos geofísicos del geosistema, que aún es necesario dilucidar.

Los cambios en la velocidad de la rotación terrestre, denominados variaciones en la longitud del día (L. d. D.), han sido determinadas astronómicamente en una amplia escala temporal que se extiende desde los días a los milenios. La acción gravitacional de la Luna y el Sol por efecto de marea, causa un decrecimiento casi lineal de la rotación terrestre y por ende un aumento de la L. d. D. en un monto de 2.5 mseg cada 100 años. Si esta componente secular de efecto de marea y las componentes periódicas de hasta 35 días son restados de las observaciones de la L. d. D. su resultado presenta particular interés geofísico y geodinámico, denominándose a la serie de la L. d. D. como representativa de cambios sin efecto de marea.

Una revisión de estos cambios (sin efecto de marea), ha sido realizada por Stephenson F. R. et al. (1985), pero los primeros estudios que relacionan el efecto del viento solar y los eventos geomagnéticos con la L. d. D. se remontan a Munk W. y G. MacDonald (1960) donde se atribuye a esta fenomenología efectos no seculares. Lambeck K. (1980) realiza un detallado análisis sobre las causas geofísicas de los distintos tipos de cambio que sufre la rotación terrestre, mientras que Moritz H. e I. I. Mueller (1988) profundizan sobre las técnicas de observación y aspectos teóricos. Djurovic D. (1983) y, Djurovic D.

y P. Paquet (1988, 1989, 1991) han analizado las relaciones entre las fluctuaciones de períodos comprendidos entre los 50 y 150 días, de origen solar y la L. d. D. Las series analizadas por estos autores fueron el número de manchas solares, parámetros del viento solar, índice de actividad geomagnética, momento angular atmosférico y L. d. D. concluyendo que el efecto solar tiene gran correlación con los cambios en la rotación terrestre y en la atmósfera. Le Mouel et al. (1992) confirman la relación entre los cambios observados en la L. d. D. y los efectos del posible pulso del campo geomagnético determinado en 1980 pero utilizando solo los datos de la Declinación del Observatorio Geomagnético de Chambon-la-Forêt (Francia).

El presente estudio analiza, para largos períodos mayores que 150 días, el efecto magnético de los cambios en el acoplamiento Viento Solar-Magnetósfera, del campo geomagnético y su interacción sobre la L. d. D. con el objetivo de evaluar la correlación de los eventos geofísicos del geosistema.

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Las series de tiempo utilizadas en este estudio son las siguientes:

Serie 1: Promedios mensuales de la L. d. D. corregida por efecto de marea desde 1976,0 hasta 1992,0 provista por el International Earth Rotation Service.

Serie 2: Promedios mensuales del Índice aa de actividad geomagnética para el período 1976,0 hasta 1992,0, representando el efecto magnético medido en la superficie de la tierra producido por la radiación particulada proveniente del Sol. Publicados por la International Association of Geomagnetism and Aeronomy-International Service of Geomagnetic Indices.

Serie 3: Promedios mensuales de los elementos geomagnéticos H (Componente Horizontal), Z (Componente Vertical), D (Declinación) e I (Inclinación) de todos los días correspondientes al Observatorio Geomagnético de Hermanus, República Sudafricana, cuyos datos son representativos para el hemisferio sur. Estos datos son provistos por los anuarios publicados por dicho Observatorio.

Serie 4: Diferencias de promedios mensuales entre los 5 días

internacionales más quietos (Q) y los 5 días internacionales más perturbados (P), detalladas con la siguiente nomenclatura: DECLINACION: D5Q - D5P; INCLINACION: I5Q - I5P; Comp. HORIZONTAL: H5Q - H5P; Comp. VERTICAL: Z5Q - Z5P.

La serie de la L. d. D. fue tomada como patrón de referencia para observar y correlacionar, en forma directa en las figuras la simultaneidad de los eventos presentes en las otras series, (Le Mouel et al. 1992). Se calculó la derivada temporal de los elementos geomagnéticos H, Z, D, e I, conformantes de la serie 3, utilizando un filtro de convolución de 25 puntos (Savitzky A. y M. J. E. Golay, 1964) con la finalidad de determinar los cambios bruscos de origen interno del campo magnético terrestre, también llamados pulsos, (Courtillot V. y J. L. Le Mouel 1988).

RESULTADOS

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran la interesante relación entre la primera derivada temporal, que representa a la variación secular discretizada a intervalos mensuales, de los elementos geomagnéticos H, Z, D e I y la L. d. D. La época correspondiente al año 1983 muestra un neto cambio en el campo geomagnético de origen interno. Los resultados de la dD/dt (Fig. 3) permiten individualizar dos procesos principales, el primero entre 1978 y 1983 y el segundo desde 1983 a 1988,8, que también están presentes en los otros elementos geomagnéticos. Así mismo, los elementos pertenecientes al meridiano magnético: dH/dt , dZ/dt y dI/dt (Fig. 1, 2 y 4) permiten individualizar dos sub-procesos en el intervalo 1978-83: uno entre 1978-1981 y el otro entre 1981-1983, donde se observan cambios suaves y envolventes en la L. d. D., acompañando a estos pulsos del campo geomagnético. Estos resultados corroboran el modelo de acoplamiento electromagnético, pero tampoco dejan de lado un aporte de acoplamiento mecánico y rotación diferencial entre el núcleo externo, interface D'' y manto inferior (Jeanloz R. 1990) actualmente en discusión.

Otro resultado de importancia es el presentado en las figuras 5, 6, 7 y 8 donde la serie 4 correspondiente a la actividad geomagnética en el Observatorio de Hermanus producida por las perturbaciones particuladas del viento solar, su campo magnético asociado, y las variaciones de la radiación ultravioleta, relacionadas con la L. d. D. Esta actividad geomagnética es determinada en forma diferencial entre el promedio mensual de los 5 días más quietos y los 5 días más perturbados; representando el efecto de: el sistema de corrientes ionosféricas situadas entre los 90 y 350 Km de altura; la corriente anillo ubicada entre 3 y 5 radios terrestres, y del sistema de corrientes de la magnetopausa y cola de la magnetósfera cuya posición espacial varía entre los 10 y 150 radios terrestres. La figura 9 corrobora la similitud de los resultados observados en la actividad y la L. d. D. La tendencia en forma parabólica que se observa y además la correlación en períodos más cortos, nos indican que también existe un aporte en los cambios de la velocidad de rotación terrestre por interacción electromagnética: viento solar - magnetósfera - sistemas de corrientes externas. Los procesos de inducción de

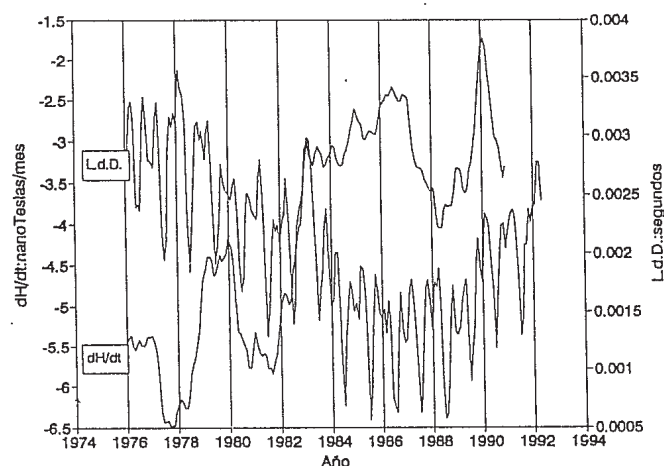


Figura 1: Primera derivada temporal de la componente Horizontal registrada en el Observatorio Geomagnético de Hermanus y L. d. D.

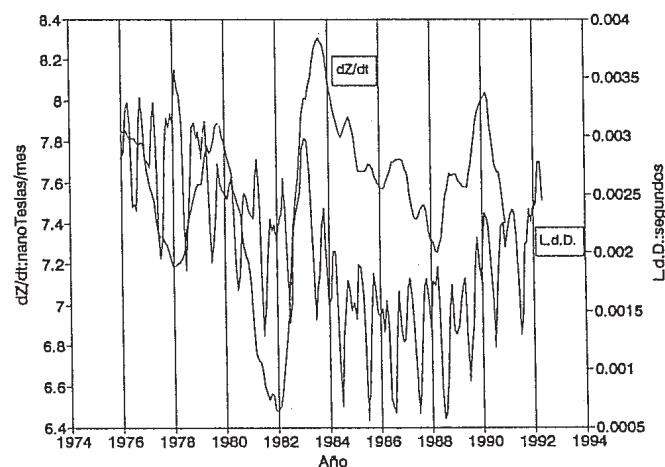


Figura 2: Primera derivada temporal de la componente Vertical registrada en al Observatorio Geomagnético de Hermanus y L. d. D.

los sistemas de corrientes externas en el océano y tierra sólida se los considera dentro de los procesos de fuentes externas.

CONCLUSIONES

Las características del campo magnético terrestre, cuyo eje dipolar principal se encuentra desviado $11^\circ.5$ respecto del eje de rotación, el cual a su vez cambia de posición respecto del plano de la eclíptica en $\pm 23^\circ$ durante el año, implica que, en el espacio, el campo geomagnético presenta cambios de su eje de simetría en $\pm 34^\circ.5$ respecto del plano de la eclíptica. Por lo tanto, la interacción entre el campo geomagnético, el viento solar y su campo magnético asociado, el campo magnético interplanetario y la radiación ultravioleta presentan importantes aspectos de asimetría, a los que se le suman los cambios de 11 y 22 años de origen solar moduladores de la fenomenología del geosistema, invitan a considerar plausible que son un aporte a las variaciones en la L. d. D producidas por cambios en el acoplamiento viento solar - magnetósfera, incluyendo en esta última los sistemas de corrientes.

Por otra parte cambios estructurales del interior terrestre evidenciados notablemente por la diferenciación de su núcleo interno (rígido), de su núcleo externo (líquido) y de su manto inferior permitieron modelar la fuente del campo magnético principal a través de una dínamo residente en el núcleo exterior. Este modelo a su vez ha permitido correlacionar, por medio de diferentes modelos de acoplamiento electromagnético y mecánico, las variaciones sin efecto de marea de la L. d. D.

Teniendo en cuenta estos dos aportes como posibles causas de las variaciones de la rotación terrestre, es plausible pensar, como conclusión final, que un modelo de acoplamiento electromagnético global con fuentes exteriores e interiores en constante interacción, con aspectos mecánicos de rozamiento con la atmósfera sería adecuado.

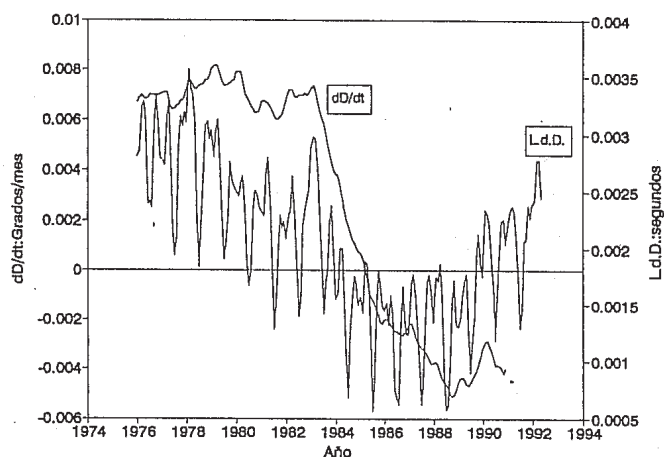


Figura 3: Primera derivada temporal de la Declinación registrada en el Observatorio Geomagnético de Hermanus y L. d. D.

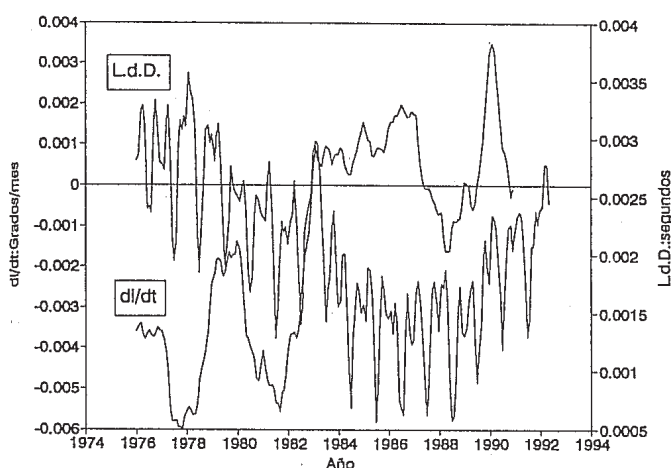


Figura 4: Primera derivada temporal de la Inclínación registrada en el Observatorio Geomagnético de Hermanus y L. d. D.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- COURTILLOT, V. & J. L. LEMOUEL, 1988. Time variations of the earth's Magnetic Field: From daily to secular. *Annual Reviews of the Earth and Planetary Sciences*, 16: 389-476.
- DJUROVIC, D., 1983. Short period geomagnetic, atmospheric and earth rotation variations. *Astronomy and Astrophysics*, 118: 26-28.
- DJUROVIC, D. & P. PAQUET, 1988. The solar origin of the 50-day fluctuation of the earth rotation and atmospheric circulation. *Astronomy and Astrophysics* 204: 306-312.
- DJUROVIC, D. & P. PAQUET, 1989. A 120-day oscillation in the solar activity and geophysical phenomena. *Astronomy and Astrophysics* 218: 302-306.
- DJUROVIC, D. & P. PAQUET 1991. Variations common to the interplanetary magnetic field, the zonal atmospheric circulation and the earth's rotation. *Communications of the Observatoire Royal de Belgique Serie B N° 157*: 1-15.
- LE MOUEL, J. L., V. COURTILLOT & D. JAULT, 1992. Changes in the Earth rotation rate. *Nature* 355: 36-37.
- JEANLOZ, R., 1990. The nature of the Earth's Core. *Annual Reviews of the Earth and Planetary Sciences* 18: 357-386.

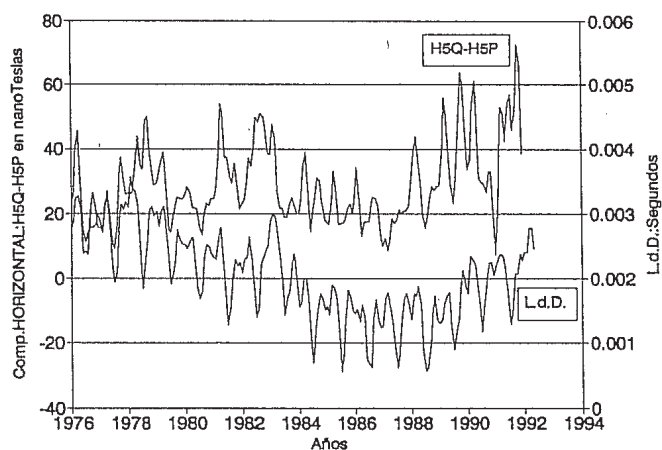


Figura 5: Actividad magnetica correspondiente a la componente Horizontal obtenida como diferencia del promedio mensual de los 5 días más quietos y 5 días más perturbados en el Observatorio Geomagnético de Hermanus y L. d. D.

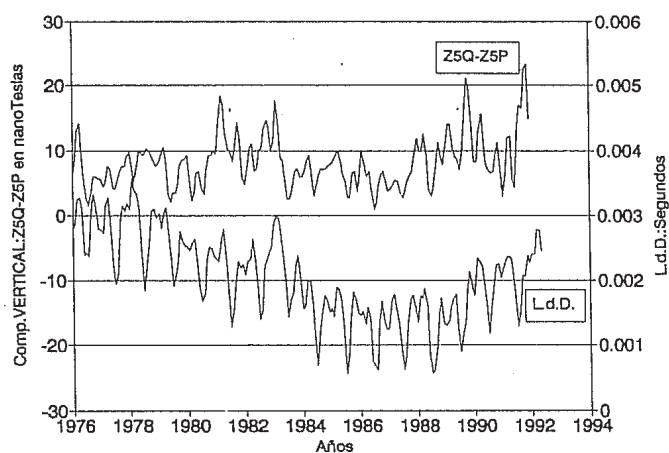


Figura 6: Idem figura 5 para la componente Vertical y L. d. D.

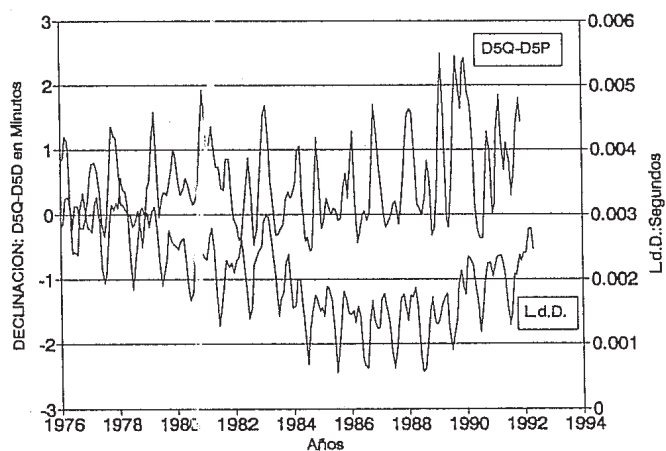


Figura 7: Idem figura 5 para la Declinación y L. d. D.

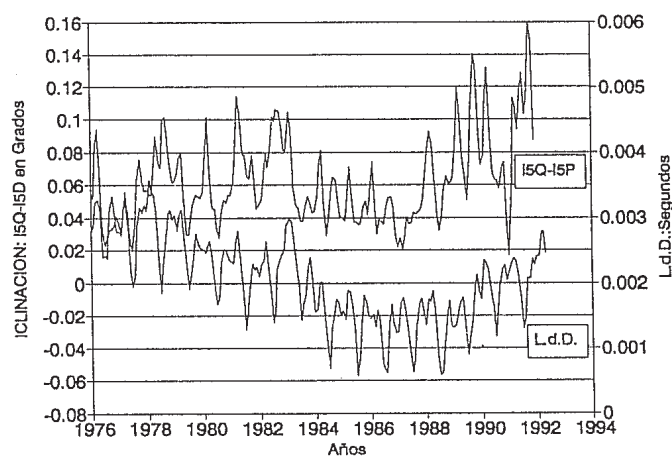


Figura 8: Idem figura 5 para la Inclinação y L. d. D.

LAMBECK, K., 1980. The Earth's Variable Rotation. Cambridge University Press. 449 pp. London.

MORITZ, H. & I. I. MUELLER, 1989. Earth Rotation. Ungar Pub. Co. 617 pp. New York.

MUNK, W. H. & G. J. F. MACDONALD, 1960. The Rotation of The Earth. Cambridge University Press. 323 pp. London

SAVITZKY, A. & M. J. E. GOLAY, 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. Annals of Chemistry 36: 1627-1629.

STEPHENSON, T. R. & L. V. MORRISON, 1985. Non-tidal changes in the length of the day 700 BC. to AD 1982. Geophysical Survey 7. 201-210. Epígrafe de las figuras

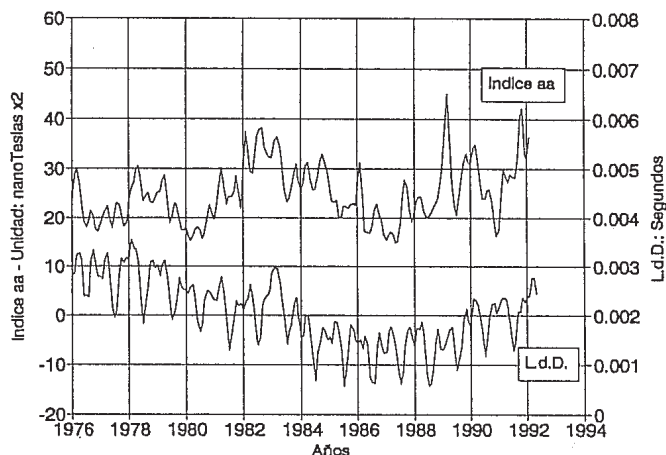


Figura 9: Promedio mensual del Índice de Actividad Geomagnética aa y L. d. D.