

DETECCION Y SIMULATION DE CORTOS PERIODOS EN LA VARIACION SECULAR DE LOS OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS ANTARTICOS Y SUBANTARTICOS

Julio Cesar Gianibelli y Eduardo Alberto Suarez

**Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.
Paseo del Bosque S/N 1900 La Plata, Argentina**

RESUMEN

Se detectan y simulan las variaciones de corto período de la variación secular presentes en las series de valores medios anuales de la componente Z en los Observatorios Geomagnéticos del Hemisferio Sur, comprendidos entre los -31.7° y -90° de Latitud. Se determinaron ondas cuyos períodos se encuentran en las bandas de 64 y 32 años de origen interno, y otras con períodos de 22 y 11 años de origen solar y de 18.6 y 8.5 años posiblemente producidas por la marea lunar.

ABSTRACT

The short periods of Secular Variation in the time series of annual mean values of Z component of Geomagnetic Observatory between -31.7° to -90° of latitude are detected and simulated. Waves with periods in the 64 years band and 32 years band of internal origin, and others with 22 years and 11 years (of solar origin), and 18.6 years and 8.5 years (possible produced by lunar tide effect) were determined.

INTRODUCCION

La red de Observatorios Geomagnéticos Permanentes Antárticos y Subantárticos comienza a desarrollarse como sistema a partir del Año Geofísico Internacional. La información producida por esta red permite la generación de una base de datos importante, compuesta por los valores medios anuales de los elementos geomagnéticos.

Las series temporales formadas por los valores medios anuales poseen información de procesos tanto de origen interno como externo. Los períodos detectados por los métodos de análisis espectral son mayores que la frecuencia de Nyquist: $(1/2) \text{ año}^{-1}$.

Los efectos de origen interno están representados por períodos de variación del orden de 60 años y sus armónicas, mientras que las de origen externo se

manifiestan en oscilaciones producidas por los sistemas de corrientes magnetosféricas e ionosféricas con variaciones de 22 y 11 años aproximadamente (doble ciclo y ciclo solar), y períodos cercanos a 18.6 y 8.5 años relacionados con la marea lunar.

El objetivo de esta investigación consiste en la detección de estos periodos, y la determinación de su amplitud, fase y errores, en las series de tiempo de los valores medios anuales de la componente Z, para los Observatorios Geomagnéticos comprendidos entre los $-31^{\circ}.7$ y -90° de Latitud Sur, y realizando la simulación de las series de tiempo con las ondas detectadas.

Los períodos de 60 años o mayores constituyen la denominada estructura de variación de "corto período" de la variación secular (VS), a esta se le superpone la tendencia lineal, denominada "tasa anual de cambio promedio", en el intervalo de tiempo analizado.

Varios autores han reportado variaciones de corto período de la VS del campo geomagnético tal como BRAGINSKY (1984) y BLOXHAM y JACKSON (1991) mientras que una vinculación entre estas variaciones y las observadas en la longitud del día han sido demostradas por VESTINE y KHALE (1967), y por JIN y THOMAS (1977) teniendo esta idea cierto mecanismo común que relaciona ambos fenómenos. También los pulsos del campo geomagnético observados en las

derivada tercera de los elementos geomagnéticos se correlacionan con los cambios en la longitud del día como lo han mostrado LE MOUÉL et. al. (1992) y GIANIBELLI y PERDOMO (1993).

En cambio los efectos gravitatorios de largo período producidos por la luna no han sido reportados hasta ahora. Las ondas armónicas componentes del potencial perturbador de marea lunar y solar han sido estudiadas por BARTELS (1957), sintetizando en este trabajo todos los anteriores estudios.

Las características particulares de la variación secular en la región antártica y subantártica para la época 1969.5 fueron realizadas por GIANIBELLI y SUAREZ (1990), donde se ha observado la evolución de focos isopóricos transitorios correlacionados con el pulso sucedido para esa misma época.

ANALISIS DE LOS DATOS

La base de datos de la componente Z generada para este estudio estuvo caracterizada por una red de 20 Observatorios Geomagnéticos descriptos en la Tabla 1; formada a partir de los anuarios publicados por el IZMIRAN (Issues 16 to 27). Los Observatorios de Toolangui y Amberley fueron reducidos a sus nuevas posiciones dadas por los Observatorios de Canberra y Eyrewell.

Tabla 1 - Listado de Observatorios Geomagnéticos con su Código. Indicándose además su ubicación geográfica, e intervalo en años analizado.

CODIGO	NOMBRE DEL OBSERVATORIO	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTURA KM	INTERVALO ANALIZADO
GNA	GNANGARA	-31.78	115.95	0.060	1945.5 - 1992.5
HER	HERMANUS	-34.42	19.23	0.030	1945.5 - 1992.5
LAS	LAS ACACIAS	-35.00	302.32	0.020	1961.5 - 1992.5
CAN	CANBERRA (+ TOOLANGUI red.)	-35.30	149.00	0.850	1945.5 - 1992.5
TRW	TRELEW	-43.27	294.62	0.070	1957.5 - 1992.5
EYR	EYREWELL (+ AMBERLEY red.)	-43.41	172.35	0.390	1945.5 - 1990.5
CZT	CROZET (PORT ALFRED)	-46.43	51.87	0.160	1974.5 - 1991.5
PAF	PORT AUX FRANCAIS	-49.35	70.20	0.035	1957.5 - 1991.5
MCQ	MACQAIRES ISLAND	-54.50	158.95	0.004	1951.5 - 1992.5
AIA	ISLAS ARGENTINAS	65.25	295.74	0.010	1957.5 - 1991.5
MIR	MIRNLY	-66.55	93.02	0.020	1957.5 - 1991.5
DRV	DUMONT D'URVILLE	-66.67	140.01	0.040	1957.5 - 1991.5
MAW	MAWSON	-67.61	62.88	0.006	1955.5 - 1992.5
MOL	MOLODEZHNAJA	-67.67	45.85	0.854	1965.5 - 1992.5
SYO	SYOWA	-69.03	39.60	0.015	1958.5 - 1992.5
SNA	SANAE	-70.31	357.65	0.052	1962.5 - 1989.5
NVL	NOVOLOZAREVSKAYA	-70.77	11.02	0.460	1961.5 - 1982.5
SBA	SCOTT BASE	-77.85	166.78	0.015	1957.5 - 1989.5
VOS	VOSTOK	-78.45	156.87	3.500	1958.5 - 1991.5
SPA	SOUTH POLE	-89.99	346.68	2.820	1959.5 - 1975.5

Los Observatorios de Novolazarevskaya y South Pole presentaron las series temporales mas cortas y en futuros estudios no podrán incluirse.

El análisis de cada serie de tiempo de la componente Z de cada Observatorio contempló previamente la determinación de la recta de mejor ajuste cuyos valores fueron restados a la serie original resultando una serie residual dada por (1),

$$Z_r(t) = Z(t) - (a + b.t) \text{ (con } t \text{ en años)} \quad (1)$$

donde a y b son los parámetros de la recta determinada por mínimos cuadrados.

Cada serie residual $Z_r(t)$ fue analizada mediante el Método de Máxima Entropía (MEM) obteniéndose el conjunto de períodos que posiblemente mejor las simule.

El análisis de la función de densidad de la potencia espectral mediante el MEM fue propuesta por BURG (1967, 1968), mientras que ULRICH and BISHOP (1975) presentan las rutinas de programación para los algoritmos. LACOSS (1971) y ULRICH (1972) han mostrado que el método es

exitoso en la estimación de la densidad de la potencia espectral para períodos comparables con la longitud de las series temporales.

La densidad espectral para un proceso estocástico discreto por MEM y para una frecuencia f está dada por:

$$P(f) = P_{M+1} \cdot \left[f_N \cdot \left| 1 + \sum_{k=1}^M A_{MK} \cdot \exp \left(-i \cdot 2 \cdot \Pi \cdot k \cdot f \cdot (\Delta t) \right) \right|^2 \right]^{-1} \quad (2)$$

donde P_{M+1} es la potencia media de salida para el punto $(M+1)$ del filtro predictor de error que es utilizado para blanquear la serie. A_{MK} representan los coeficientes del filtro predictor de error determinados a partir de los datos, Δt es el intervalo uniforme de muestreo, que para este caso es 1 año. La frecuencia de Nyquist f_N esta dada por $1/(2 \cdot \Delta t)$ y f es la frecuencia comprendida entre $-f_N$ y f_N para la cual la densidad de la potencia espectral es determinada. Los coeficientes A_{MK} se calculan mediante el algoritmo de Burg dado

en ULRICH and BISHOP (1975) que no requiere extensiones periódicas o ceros a los datos.

Detectados los períodos característicos mediante (2) para longitudes del filtro predictor de error comprendida entre el 50% al 95% de la longitud de cada serie de tiempo, se determinó la amplitud y fase de la onda correspondiente a cada período mediante un modelo aditivo de la forma dada por la expresión:

$$Z_r(t) = \sum_{n=1}^N C_n \cdot \exp \left[i \cdot (2 \cdot \Pi \cdot f_n \cdot t + \Phi_n) \right] \quad \text{con } f_n = \frac{1}{T_n} \quad (3)$$

donde C_n son las amplitudes y Φ_n las fases de las ondas de período T_n determinado por el MEM.

inversa del sistema de ecuaciones normales, divididos por la desviación estandar del ajuste.

Los errores de C_n y Φ_n se determinaron a partir de la raíz cuadrada de los elementos de la diagonal principal de la matriz

RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del modelo dado en (3)

se tienen en la Tabla 2 para cada Observatorio, donde se presenta la amplitud, fase y errores de las ondas, para cada período detectado.

Solamente en los Observatorios de DRV y SNA se ha podido detectar y simular la banda de los 60 años, mientras que sus armónicas aparecen en LAS, MCQ, AIA, y SYO. El ciclo de modulación solar, de períodos cercanos a los 22-23 años y el ciclo principal de variación del número de manchas solares en la banda de 11.5 años también determinados, excepto en CZT donde no aparecen.

Un aspecto peculiar se tiene con los efectos producidos por las ondas de marea lunar de largo período, de 18.6 años, correspondiente al período del perigeo de la órbita lunar denominada Mn. Períodos en esta banda pudieron ser observados en LAS, CAN, TRW, MCQ, y AIA. La onda de períodos en la banda de 8.5 años se detectó en HER, TRW, PAF, AIA, MOL y SYO. Los períodos menores a 4 años se

encuentran dentro de la banda de mayor incertidumbre en su determinación pues se ubican en las cercanías de la frecuencia de Nyquist, a pesar de ello se ha podido simular en los Observatorios Antárticos de MIR, DRV, y SYO.

En la Tabla 3 se muestra la tendencia de la recta de regresión, observándose que solamente en los Observatorios de GNA y LAC la componente Z se hace cada vez más negativa a diferencia del resto de Observatorios. Es posible que CAN en un futuro invierta su tendencia de 3.2 nT/año a valores negativos, pero esto es menos probable que suceda con HER, ya que este observatorio se encuentra afectado por la gran anomalía de Atlantico Sur. FLEMING (1932) ya había detectado en HER un foco de cambio rápido de la tasa anual para la componente H de -110 nT, identificando otros focos de esta índole.

Tabla 2 - Componente Z - Resultados de la determinación de la amplitud, fase y sus errores. EMC: Error medio cuadrático del ajuste con los períodos detectados.

EYR	EYREWELL			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
44.52	40.2	2.0	89.40	2.05
23.81	40.3	3.0	78.01	1.44
18.29	16.6	2.7	116.07	10.72
13.13	8.5	2.3	119.22	16.47
10.78	8.5	1.9	101.14	13.60
6.83	3.6	1.6	83.28	19.20
4.88	1.8	2.0	39.48	5.65
3.53	2.9	1.9	59.28	9.23
EMC =	6.53			

MCQ	MACQAIRE ISLAND			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
32.00	16.2	1.7	130.40	6.01
19.32	9.1	1.8	73.32	6.34
15.52	16.2	1.7	77.03	3.83
10.89	8.7	1.3	16.10	4.99
6.87	3.0	1.4	25.54	9.80
5.69	2.1	1.2	263.18	26.58
4.85	3.7	1.5	298.67	22.49
3.07	2.4	1.4	153.91	33.81
2.39	2.8	1.4	145.75	29.79
EMC =	4.77			

CZT	CROZET	(PORT	ALFRED)	
PER.	AMP.	FASE	ERR.	
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
17.07	70.0	2.2	247.07	0.68
9.39	21.4	2.4	280.32	5.39
6.97	6.2	2.4	286.64	22.67
4.32	2.8	2.3	228.74	2.51
2.51	2.6	1.5	180.35	35.65
EMC =	4.61			

AIA	ISLAS	ARGENTINAS		
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
33.03	85.1	1.9	259.23	0.89
17.96	36.2	2.1	253.58	1.66
11.91	18.0	2.1	251.34	3.08
8.98	6.1	1.9	262.08	12.71
6.40	4.3	2.4	138.97	31.54
4.16	3.0	2.2	242.67	13.12
2.26	1.3	2.2	53.97	14.93
EMC =	6.67			

PAF	PORT	AUX	FRANCAIS	
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
23.27	149.6	8.8	66.67	0.87
15.28	90.5	9.0	68.81	1.85
11.38	35.9	6.8	97.00	11.89
8.83	26.0	6.0	85.64	12.78
7.16	11.4	6.2	82.37	25.29
3.72	3.4	6.4	283.01	106.26
EMC =	22.04			

MIR	MIRNY			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
23.27	86.8	6.7	71.92	1.92
16.52	28.1	7.6	134.97	15.39
10.14	24.5	5.7	72.72	6.98
7.70	18.5	5.9	23.54	7.12
5.17	13.8	5.4	13.62	14.32
4.59	17.1	5.4	346.61	18.32
3.67	12.9	6.1	328.04	27.08
EMC =	18.38			

Tabla 2 continuacion - Componente Z - Resultados de la determinación de la amplitud, fase y sus errores. EMC: Error medio cuadrático del ajuste con los períodos detectados.

DRV	DUMONT	D'URVILLE		
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
68.27	19.3	3.2	14.04	5.89
25.60	57.4	3.6	149.80	3.67
14.84	27.9	3.7	141.42	7.57
10.45	12.2	3.7	134.50	17.45
7.70	10.3	3.4	69.52	8.60
6.17	1.8	2.9	6.03	73.99
4.30	6.3	3.7	221.45	2.59
3.18	6.9	3.5	296.15	28.83
2.15	6.6	201.16	12.62	
EMC =	10.65			

SYO	SYOWA			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
33.03	140.8	11.8	248.07	1.39
23.81	38.2	12.6	27.69	3.74
11.25	23.9	6.8	256.42	10.13
8.26	18.9	10.0	42.53	2.09
7.31	24.7	9.7	53.75	3.51
6.13	16.1	6.2	7.02	17.90
5.12	11.9	7.3	302.34	35.15
4.39	13.6	5.5	267.16	20.86
3.12	13.5	7.2	239.37	7.46
2.64	13.2	7.2	214.11	6.34
EMC =	21.51			

MAW	MAWSON			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
24.98	118.1	4.6	92.31	1.66
16.52	61.6	7.2	112.33	6.01
13.30	24.3	6.0	184.49	9.59
10.45	13.0	4.9	116.79	21.67
5.63	5.3	4.0	33.67	9.14
4.81	3.4	3.6	289.64	61.10
3.51	6.9	3.4	283.84	28.13
2.67	4.5	3.2	262.04	30.23
2.24	4.9	3.3	349.95	38.05
EMC =	12.18			

SNA	SANAE			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
64.00	6.3	4.4	60.97	1.27
26.26	14.3	3.9	232.49	5.15
12.19	18.1	2.3	172.63	7.92
8.53	6.5	2.7	101.04	22.30
5.72	4.2	3.5	306.56	47.01
4.95	4.2	2.9	102.01	38.84
4.34	5.4	3.2	43.24	0.72
3.20	4.2	2.9	52.62	4.80
2.31	2.5	2.5	282.68	54.53
EMC =	7.49			

MOL	MOLODEZHNAJA			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
20.48	72.4	10.7	161.37	8.81
11.51	40.1	12.3	127.28	17.39
8.46	12.8	12.5	121.56	54.85
5.95	10.9	11.6	22.69	25.90
5.00	14.8	11.4	337.72	44.15
4.10	7.6	12.1	35.64	15.45
3.23	10.7	10.0	79.88	35.96
2.16	16.8	11.4	298.20	39.46
EMC =	31.53			

NVL	NOVOLOZAREVSKAYA			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
10.56	15.8	13.6	227.18	0.82
8.98	37.1	13.3	225.17	2.26
6.40	8.8	7.5	19.84	22.05
4.59	17.5	7.3	241.84	7.04
3.15	21.6	5.7	264.54	12.48
EMC =	17.08			

Tabla 2 continuacion - Componente Z - Resultados de la determinación de la amplitud, fase y sus errores. EMC: Error medio cuadrático del ajuste con los períodos detectados.

SBA	SCOTT	BASE		
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
32.00	42.3	4.3	253.63	1.47
20.90	20.5	4.6	17.28	4.09
14.84	8.3	3.3	200.80	9.63
9.31	3.5	2.5	51.55	5.50
6.13	5.2	2.1	190.40	15.67
5.02	17.3	2.6	121.35	8.43
4.51	9.1	2.3	103.84	14.05
3.91	7.3	2.3	69.10	7.87
2.57	5.5	2.3	337.22	23.69
2.19	4.9	1.8	271.84	20.22
EMC =	6.96			

SPA	SOUTH	POLE		
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
30.12	31.7	5.2	2.48	8.47
12.64	82.9	6.7	146.87	4.81
7.06	39.4	6.9	127.44	9.83
5.28	6.6	7.0	132.27	60.77
2.77	4.6	5.1	269.12	55.06
EMC =	13.38			

VOS	VOSTOK			
PER.	AMP.	ERR.	FASE	ERR.
AÑOS	nT.	nT.	Gr.	Gr.
32.00	116.7	5.3	258.99	1.27
17.36	68.9	6.3	257.76	1.77
12.34	45.7	6.1	277.35	6.19
9.23	31.7	7.9	301.80	13.82
7.94	9.8	7.4	317.93	42.57
6.40	8.1	4.8	112.18	35.43
5.33	7.5	4.9	213.78	6.55
4.39	7.8	4.8	132.02	35.26
3.56	7.6	4.2	70.77	15.00
2.63	8.5	3.7	7.41	18.86
EMC =	13.25			

Tabla 3 - En la primera columna se tiene el código del Observatorio. La segunda columna muestra la tendencia correspondiente a la recta de regresión que representa a la variación secular. La tercera columna muestra la amplitud del residuo caracterizado por la resta a los datos originales de dicha recta de regresión. En la cuarta columna se resume el EMC de la Tabla 2. El porcentaje del EMC respecto de la amplitud del residuo se presenta en la quinta columna.

CODIGO OBSERV.	TENDENCIA LINEAL nT/año	AMPLITUD RESIDUO nT	EMC DE LA SINTESIS nT	%
GNA	-12.8	302.68	7.60	2.51
HER	90.6	99.40	3.61	3.63
LAS	-22.1	159.28	4.41	2.77
CAN	3.2	247.69	3.27	1.32
TRW	21.8	117.12	3.82	3.26
EYR	34.6	168.76	6.53	3.87
CZT	25.5	153.19	4.61	3.01
PAF	19.7	461.68	22.04	4.77
MCQ	29.1	96.76	4.77	4.93
AIA	90.5	223.46	6.67	2.98
MIR	77.2	329.46	18.38	5.58
DRV	57.4	200.70	10.65	5.31
MAW	93.7	311.89	12.18	3.91
MOL	105.9	270.37	31.53	11.66
SYO	117.1	386.33	21.51	5.57
SNA	120.9	96.24	7.49	7.78
NVL	120.9	143.44	17.08	11.91
SBA	86.4	149.02	6.96	4.67
VOS	92.0	341.91	13.25	3.88
SPA	104.5	247.01	13.38	5.42

Asimismo un parámetro importante es el obtenido en la cuarta columna de la Tabla 3 que es un indicador porcentual de ajuste del modelo dado por la formula 3, respecto de la amplitud pico de las series residuales anualizadas.

Existe una casi coincidencia en la aparición de las líneas espectrales detectadas por JIN y

THOMAS (1970, en su estudio de similaridad de las variaciones temporales del campo dipolar geomagnético y su relación con los cambios observados en la longitud del día y las determinadas en este estudio, especialmente en las bandas de 33, 34 y 66 años (véase las figuras 2, 5 y 10 de JIN y THOMAS (1977)). La diferencia con las determinaciones realizadas en

este estudio, radica en la estimación de la amplitud y fase de dichas ondas, por medio de un modelo aditivo, que supone una independencia de las fuentes (interna y externa) y armónicas que con su co-oscilación generan ondas de período menor.

CONCLUSIONES

El estudio de los cortos períodos de la VS en el hemisferio sur se encuentra en sus inicios por la corta longitud de las series de tiempo de valores medios anuales. Las observaciones en puntos de repetición dan una estimación de la forma de la VS pero no contribuyen a tener series largas y homogéneas. El presente análisis ha permitido determinar no solo los períodos presentes sino que también su simulación, con la estimación de amplitudes, fases y errores de las ondas esperadas en la banda de corto período de la VS y del ciclo solar.

Pero lo mas interesante ha sido la detección de las ondas largas de marea con una muy buena precisión como en LAS, TRW y EYR.

Resta entonces para futuros trabajos analizar dos aspectos importantes. El primero si el efecto de estas ondas de origen lunar es debido a oscilaciones del núcleo externo de la Tierra o es un efecto de oscilaciones del sistema de corrientes magnetosféricas e

ionosféricos, o ambos. El segundo, analizar otros posibles modelos que representen mejor los períodos detectados, lo cual podría arrojar soluciones sobre períodos determinados que están fuera de las ondas detectadas.

REFERENCIAS

Bartels, J., Gezeitenkräfte, *Handbuch der Physik*, vol. 48, pt. 2, 734-774, 1957.

Bloxan, J. and A. Jackson, Fluid flow near the surface of Earth's outer core, *Rev. Geophys.*, 29, 97-120, 1991.

Burg, J.P., Maximum entropy spectral analysis, paper presented at Advanced Study Institute of Signal Processing, NATO, Enschede, Netherlands, 1968.

Braginsky, S.I., Short period geomagnetic secular variation, *Geophys. Astrophys. Fluid. Dynam.*, 30, 1-78, 1984.

Fleming, J.A., Time-changes of the Earth's magnetic field, *The Scientific Monthly*, 39, 499-530, 1932.

Gianibelli, J.C. y E.A. Suarez, Características de la variación secular para la época 1969 en las regiones antárticas y subantárticas, *Actas de la Primera Conferencia Latinoamericana sobre Geofísica, Geodesia, e Investigacion Espacial Antártica*, Buenos Aires, 312-322, Julio 1990.

Gianibelli, J.C. y R. Perdomo, Efectos geomagnéticos relacionados con cambios en la rotación terrestre, Actas del XII Congreso Geológico Argentino, Mendoza, Tomo III, 391-395, Oct., 1993.

Jin, R.S. and D.M. Thomas, Spectral line similarity in the geomagnetic dipole field variations and length of day fluctuations, *J. Geophys. Res.*, 82, 828-834, 1977.

Lacoss, R.T., Data adaptive spectral analysis methods, *Geophysics*, 36, 661-675, 1971.

Le Mouél, J.L., V. Courtillot and D. Jault, Changes in Earth rotation rate, *Nature*, 355, 26-27, 1992.

Ulrich, T.J., Maximum entropy power spectrum of truncated sinusoid, *J. Geophys. Res.*, 77, 1396-1400, 1972.

Ulrich, T.J. and T.N. Bishop, Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition, *Rev. Geophys.*, 13, 183-200, 1975.

Vestine, E.H. and A.B. Kahle, The westward drift and geomagnetic secular change, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 15, 29-37, 1967.

Este trabajo es parte del Proyecto de Investigación y Desarrollo del Departamento de Magnetismo Terrestre y Electricidad Atmosférica (Fac. de Cs. Astr. y Geofísica de la UNLP), titulado: "Geomagnetismo: Observatorios permanentes y relevamiento en cuencas sedimentarias".