

Altura del máximo de concentración electrónica en la ionosfera sobre isla Rey Jorge, Antártica, y Concepción, Chile continental

MANUEL A. ARRIAGADA M.¹ y ALBERTO J. FOPPIANO B.²

RESUMEN

Se calcula las alturas del máximo de concentración electrónica en la ionosfera sobre Concepción (36,8°S., 73,0°W.) e isla Rey Jorge (62,2°S., 58,8°W), Antártica, para cada hora del día de junio, septiembre y diciembre de 1986 y 1989, años representativos de condiciones de nivel de actividad solar bajo y alto, respectivamente. En el cálculo de las alturas se evalúa una conocida fórmula empírica usando los valores horarios de las características ionoféricas foF2, M(3000)F2 y foE obtenidos de los ionogramas correspondientes a los lapsos indicados. Se encuentra que las alturas aumentan sistemáticamente de invierno a verano, para la mayor parte del día, en los dos lugares y para ambos niveles de actividad solar. Además, las alturas son mayores para nivel de actividad solar alto. Las variaciones diarias de las alturas se pueden modelar adecuadamente, prácticamente en todos los casos, usando sólo componentes armónicas diurnas, semidiurnas y terdiurnas.

Palabras claves: Ionosfera, región F, Antártica.

Maximum electronic concentration heights of the ionosphere over King George Island, Antarctica, and Concepción, continental Chile

MANUEL A. ARRIAGADA M.¹ and ALBERTO J. FOPPIANO B.²

ABSTRACT

Maximum electronic concentration heights of the ionosphere over Concepción (36,8°S., 73,0°W.), and King George Island (62,2°S., 58,8°W.), Antarctica, are determined for each hour of June, September and December for both 1986 and 1989, years which could be considered representative of low and high solar activity level conditions, respectively. Heights are determined using a well known empirical formula with hourly values of ionospheric characteristics foF2, M(3000)F2 and foE derived from corresponding ionograms for the indicated periods. Heights are found to increase from Winter to Summer during most hours, for both locations and at low and high solar activity level. Moreover, heights are larger when solar activity level is higher. Time-of-day variations can be adequately modeled for most cases using only diurnal, semidiurnal and terdiurnal harmonic components.

Key words: Ionosphere, F-region, Antarctica.

¹ Departamento de Física, Universidad del Bío Bío, Casilla 3-C, Concepción.

² Departamento de Física de la Atmósfera y del Océano, Universidad de Concepción, Casilla 3-C, Concepción, Chile.

INTRODUCCION

Para caracterizar el comportamiento de la región F de la ionosfera se requiere describir la concentración electrónica máxima y la altura a la que ésta ocurre. Como esta caracterización es particularmente interesante en el sector sudamericano de latitudes medias (e.g. Gledhill, 1976; Rodger y Smith, 1989), en un trabajo anterior (Arriagada y Foppiano, 1992) se presentaron las evoluciones diarias de la concentración electrónica en Concepción e isla Rey Jorge, Antártica, representativa de invierno, equinoccio y verano para niveles de actividad solar bajo y alto. Además se intentó su modelación de manera especialmente simple. En este trabajo se describen las evoluciones diarias de la altura del máximo de concentración electrónica (hmF2) para condiciones consideradas similares.

Aunque Canziani *et al.* (1986) ya determinaron las evoluciones diarias de la hmF2 representativas de junio, septiembre y diciembre, para una red latitudinal de estaciones en el sector longitudes entre 58° y 121° Oeste, éstas corresponden sólo a condiciones de nivel de actividad solar medio, lo que impide cualquier estimación de la dependencia de la hmF2 con la actividad solar. Además, dicha red no incluye isla Rey Jorge, lugar en que recién se iniciaron las observaciones ionosféricas en febrero de 1986.

Por otra parte, otros estudios de la dependencia de la hmF2 con las actividades solares se basan en observaciones hechas fundamentalmente en el hemisferio norte (Buonsanto, 1990), no existiendo una posición definitiva respecto a esta dependencia, al menos en lo que se refiere a las estimaciones de vientos neutros meridionales horizontales, derivados de las variaciones diarias de la hmF2 (Hedin *et al.*, 1993).

MATERIAL Y METODO

En primer lugar se leyeron los valores de la frecuencia crítica de la región F (foF2) y el factor de transmisión para una distancia de 3000 km. de la región F, (M(3000)F2), además de la frecuencia crítica de la región E (foE). La lectura incluyó los ionogramas obtenidos cada hora del día en las estaciones ionosféricas de Concepción (36,8°S., 73,0°O.) e isla Rey Jorge (62,2°S., 58,8°O.), Antártica, durante junio, septiembre y diciembre de 1986 y 1989. Luego se calculó los valores correspondientes de la hmF2 según las ecuaciones empíricas adoptadas por el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR) (derivadas de las proposiciones de Bradley y Dudeney (1973), modificadas por Eyfrig, (1974). Los detalles inherentes a la determinación de la hmF2, para un período menor correspondiente a isla Rey Jorge, incluyendo las incertezas asociadas a la lectura de los ionogramas, fueron ya discutidos por Arriagada *et al.* (1993).

Los valores de la hmF2 para cada hora y cada mes se agruparon y se determinaron los valores medianos mensuales. Estos valores se denominan alturas observadas. Luego se hizo un análisis armónico de las evoluciones diarias de estos valores obteniéndose así alturas modeladas. Finalmente, se calculó las hmF2 usando los valores medianos mensuales de la foF2, el M(3000) y la foE obtenidos según el modelo numérico del CCIR (1982). Estas últimas se denominan alturas CCIR.

RESULTADOS

En la figura 1 se muestran las evoluciones diarias de las alturas observadas, de las modeladas usando sólo las componentes armónicas de períodos de 24, 12 y 8 horas, y de la CCIR, para Concepción. Para las tres evoluciones diarias indicadas, en general, la hmF2 es mayor durante la noche, particularmente en los meses de invierno y primavera. También, en los tres casos la altura aumenta de invierno a verano para la mayor parte del día, y es significativamente mayor para la época de mayor nivel de actividad solar (e.g. ver valores medios de alturas modeladas en el Cuadro 1).

Para todos los meses y para ambos niveles de actividad solar las evoluciones diarias de las alturas observadas (y obviamente de las modeladas) muestran dos rasgos netos, que podrían tipificarse como una «W» diurna y una «M» nocturna. Ambos rasgos son más pronunciados en la época de mayor actividad

1986

1989

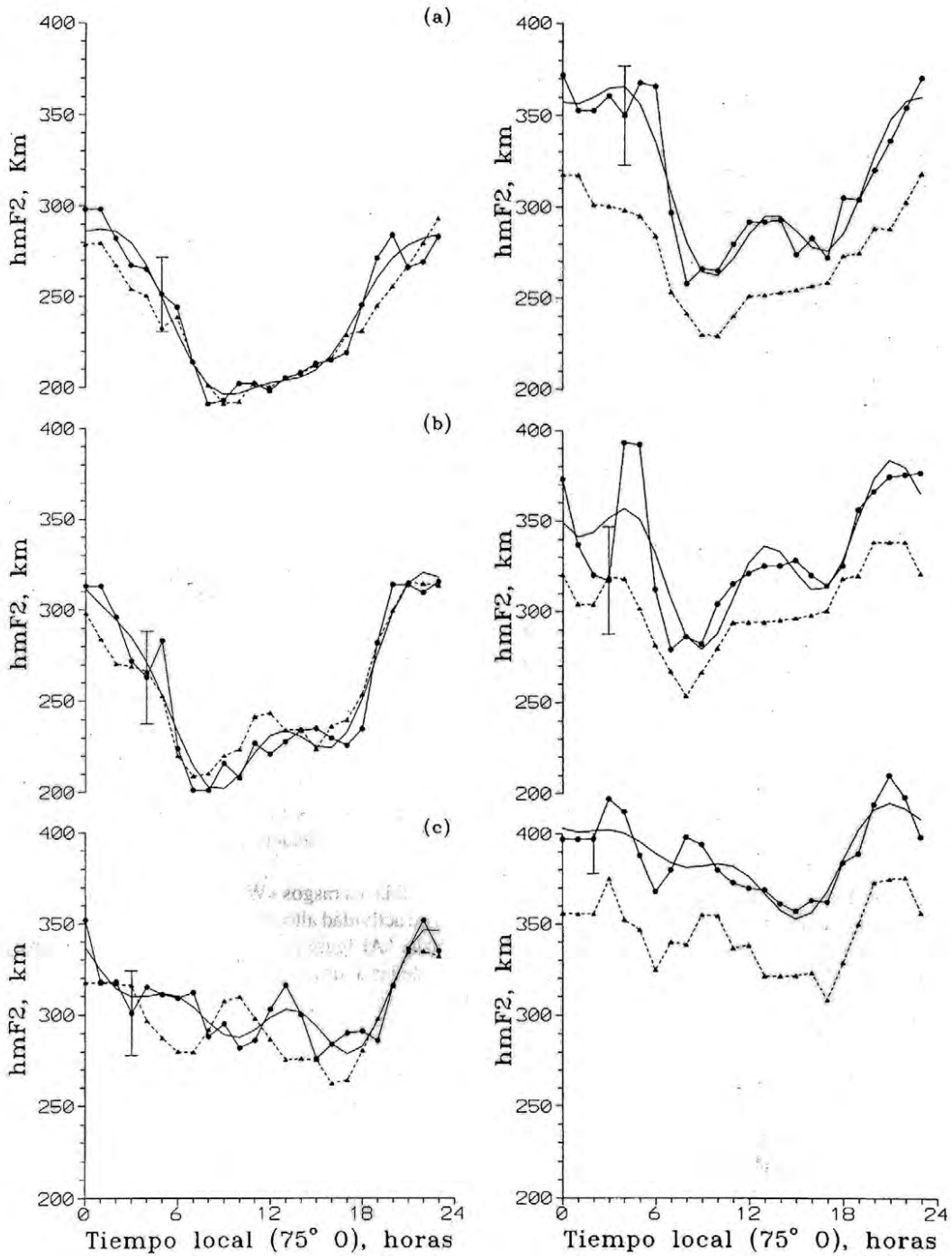


Fig. 1. Evolución diaria de la altura del máximo de concentración electrónica de la ionosfera sobre Concepción (36.8° S., 73.0° O.), para 1986 (nivel de actividad solar bajo) y 1989 (nivel de actividad solar alto) en (a) junio (b) septiembre y (c) diciembre.

(círculos llenos)
(triángulos llenos)
(línea continua)

valores medianos mensuales observados
valores determinados según el modelo del CCIR
valores calculados con modelo de sólo componentes diurna, semidiurna y terdiurna

Las barras verticales indican las desviaciones estándar máximas observadas y están centradas en los valores correspondientes a las horas en que ocurren.

solar, excepto probablemente en verano. Estos rasgos no se aprecian claramente en las evoluciones diarias de las alturas CCIR.

Cuadro 1

Valores medios, amplitudes y fases de máximo de las componentes armónicas de las evoluciones diarias de la hmF2 mediana mensual observada en Concepción (36.8°S., 73.0°O.).

Año Mes	1986			1989			
	Jun	Sep	Dic	Jun	Sep	Dic	
Valor medio (km)	241	157	307	316	334	389	
Amplitudes(km)	diurna	47	51	20	47	31	22
	semidiurna	4	13	11	11	4	10
	terdiurna	5	9	10	14	19	7
Fases (hrs)	diurna	23.5	23.0	0.3	0.9	22.5	0.6
	semidiurna	13.6	11.8	11.1	14.0	13.2	9.2
	terdiurna	11.6	12.6	13.9	13.2	12.9	11.8

Las tres evoluciones diarias correspondientes a isla Rey Jorge se muestran en la figura 2. Al igual que en Concepción, la hmf2 es mayor durante la noche, aunque en realidad en el verano la región F está permanentemente iluminada. Asimismo, la altura generalmente aumenta de invierno a verano, excepto para la mayor parte del día en invierno para nivel de actividad solar alto, en que las alturas son iguales o algo mayores que las de primavera.

Concentración electrónica en la ionosfera

También, como en Concepción, en época de actividad solar alta las alturas son siempre mayores que en época de actividad solar baja (e.g. ver valores medios de alturas modeladas en el Cuadro 2).

Las alturas observadas también muestran en alguna medida los rasgos «W» y «M». Sin embargo, sólo las «W» es pronunciada en invierno y primavera para nivel de actividad alto, mientras que la «M» es evidente únicamente en verano para nivel de actividad solar bajo. Al igual que en Concepción, estos rasgos tampoco se aprecian claramente en las evoluciones diarias de las alturas CCIR.

Cuadro 2

Valores medios, amplitudes y fases de máximo de las componentes armónicas de las evoluciones diarias de la hmF2 mediana mensual observada en isla Rey Jorge (62.2°S., 58.8°O.)

Año Mes	1986			1989			
	Jun	Sep	Dic	Jun	Sep	Dic	
Valor medio (km)	258	263	284	320	328	371	
Amplitudes (km)	diurna	47	55	49	74	74	42
	semidiurna	3	10	9	5	18	7
	terdiurna	5	7	6	9	13	2
Fases (horas)	diurna	23.9	23.7	0.2	1.3	0.7	2.4
	semidiurna	16.0	12.5	16.8	11.9	13.0	10.4
	terdiurna	15.8	12.0	11.5	14.1	12.1	12.7

DISCUSION

Es destacable notar que las evoluciones diarias observadas pueden reproducirse adecuadamente suponiendo que existen sólo variaciones armónicas diurnas (D), semidiurnas (S) y terdiurnas (T), tanto para Concepción como para isla Rey Jorge, en todas la estaciones del año y en ambos niveles de actividad solar. Aunque es evidente que las alturas cambian significativamente de una hora a la siguiente en algunos casos, estos cambios no son sistemáticos, por lo que parecería innecesario agregar componentes de período menor a 8 horas para lograr su modelación.

El hecho que los rasgos «M» y «W» de las evoluciones diarias en Concepción sean más pronunciadas en primavera para nivel de actividad solar alto, se debe a que, por una parte la amplitud de la componente T es bastante mayor que la de la S, siendo casi 2/3 de la amplitud de la D, y a que la T y D están en antifase tanto a medianoche como a mediodía.

En el caso de isla Rey Jorge, que la «W» sea el rasgo más pronunciado en primavera se debe a que, esta vez para los dos niveles de actividad solar la T y la S son ambas de amplitud relativamente grande. Luego, por estar en fase entre sí, y en antifase con la D alrededor de mediodía, marcan la evolución diaria, como en Concepción. En cambio, por estar en antifase entre sí a medianoche, siendo aproximadamente de la misma amplitud, no producen la «M». La situación en verano es diferente en que, para baja actividad solar, la T y la S están en fase entre sí, y en antifase con la D, alrededor de medianoche.

La «M» y la «W» son poco notorias en invierno tanto en Concepción como en isla Rey Jorge, para ambos niveles de actividad solar, porque las amplitudes de la T y la S son apenas un 10% de la amplitud de la D.

Para confirmar la dependencia de la hmF2 con el nivel de actividad solar ya indicada, se consideró además los valores medios diarios de la hmF2 para Concepción e isla Rey Jorge calculados por Canziani *et al.* (1986). Estos valores para Concepción corresponden a observaciones hechas en el lugar, mientras que los de isla Rey Jorge corresponden a valores interpolados mediante un ajuste polinomial a los valores de la red latitudinal completa. El análisis de regresión de los valores medios diarios de la hmF2, para los tres niveles de actividad solar, en cada lugar y para cada mes, indica que existe una dependencia lineal entre la hmF2 y el promedio móvil de 12 meses del número de manchas solares. Los coeficientes angular y de posición de las rectas de regresión se indican en el Cuadro 3, junto con un indicador de la bondad del ajuste.

Cuadro 3

Coeficiente angular (m), coeficiente de posición (n) y porcentaje de residuos explicados (%), de la dependencia lineal entre el valor medio de la hmF2 y el promedio móvil de doce meses del número de manchas solares.

Mes	m (km/N°)			n (km)			%		
	Jun	Sep	Dic	Jun	Sep	Dic	Jun	Sep	Dic
Concepción	0.52	0.54	0.60	35	247	296	100	90	100
I. Rey Jorge	0.43	0.43	0.62	255	262	277	95	97	99

Al comparar las evoluciones diarias de las alturas CCIR con las de las observadas se encuentra que, para ambos lugares solamente durante épocas de nivel de actividad solar bajo, éstas son similares excepto en verano. Las diferencias más importantes se aprecian para el caso de Concepción, en que las alturas CCIR son sistemáticamente menores que las observadas, aunque las formas de las evoluciones son semejantes. Las diferencias son igualmente importantes en isla Rey Jorge durante el verano y en la noche, en invierno y primavera.

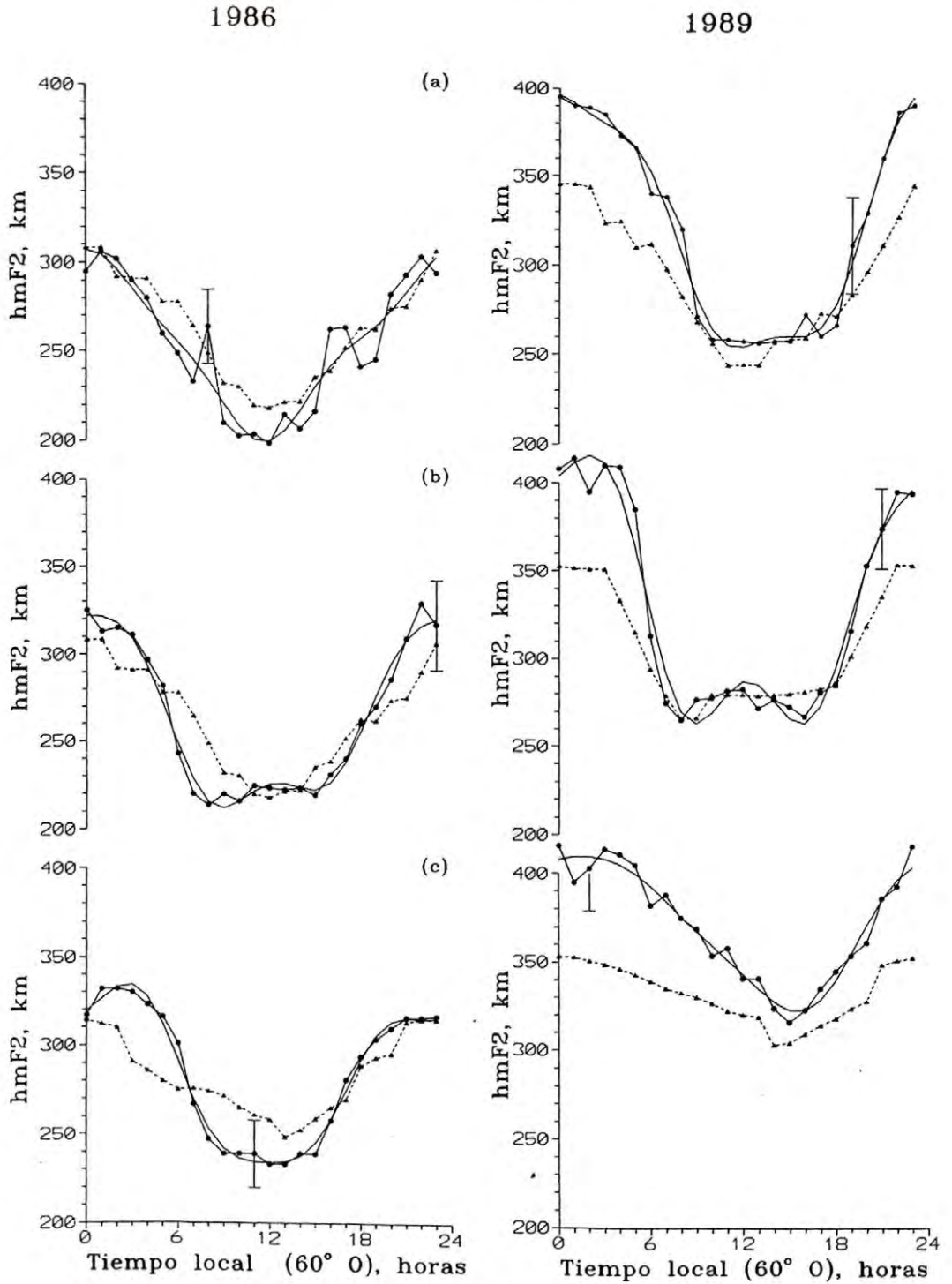


Fig. 2. Evolución diaria de la altura del máximo de concentración electrónica de la ionosfera sobre isla Rey Jorge (62.2° S., 58.8° O.), Antártica, para 1986 (nivel de actividad solar bajo) y 1989 (nivel de actividad solar alto) en (a) junio (b) septiembre y (c) diciembre

(círculos llenos) valores medianos mensuales observados
 (triángulos llenos) valores determinados según el modelo del CCIR
 (línea continua) valores calculados con modelo de sólo componentes diurna, semidiurna y terdiurna

Las barras verticales indican las desviaciones estándar máximas observadas y están centradas en los valores correspondientes a las horas en que ocurren.

CONCLUSIONES

Se encuentra que las hmF2 observadas en Concepción y en isla Rey Jorge son mayores durante la noche, aumentan sistemáticamente de invierno a verano, durante la mayor parte del día, para ambos niveles de actividad solar. Además, sus valores medios diarios aumentan linealmente con el promedio móvil de 12 meses del número de manchas solares.

Las evoluciones diarias de las hmF2 observadas pueden reproducirse adecuadamente en los dos lugares, en las tres estaciones del año y para ambos niveles de actividad solar, sólo con componentes armónicas diurna, semidiurna y terdiurna.

Finalmente, se encuentra que las alturas CCIR difieren significativamente de las observadas en los dos lugares para nivel de actividad solar alta.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Antártico Chileno por proveer los fondos y parte del apoyo logístico para comprar, instalar y operar el ionosonda en base Frei (Proyecto INACH 024). También se agradece a la Fuerza Aérea de Chile por el apoyo logístico prestado, especialmente en la preparación del terreno para el patio de antenas y la construcción de sus fundaciones, así como en el montaje del módulo de la Estación Ionosférica.

Este trabajo ha sido patrocinado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Proyecto FONDECYT 1940934).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARRIAGADA, M.A. y A. J. FOPPIANO, 1992. Semiempirical model of the ionospheric maximum electron concentration for South American middle latitudes. *Geof. Internac.* 31:125-129.
- ARRIAGADA, M.A., A.J. FOPPIANO y D.R. FIGUEROA, 1993. Variaciones diarias de la foF2, hmF2 e ymF2 en la isla Rey Jorge, Antártica, durante la tormenta geomagnética del 4-6 de junio de 1991. *Ser. Cient. INACH* 43:9-16.
- BRADLEY, P.A. y J.R. DUDENEY, 1973. A simple model of the vertical distribution of electron concentration in the ionosphere. *Jour. Atmosph. Terrest. Physics*, 35:2131-2146.
- BUONSANTO, M.J., 1990. Observed and calculated F2 peak heights and derived meridional winds at mid-latitudes over a full solar cycle. *Jour. Atmosph. Terrest. Physics* 52:223-240.
- CANZIANI, P.O., A.E. GIRALDEZ y S. MARINARO, 1986. Análisis latitudinal de mareas en el parámetro hmF2, XIV Reunión científica de Geofísica y Geodesia. Asociación argentina de geofísicos y geodestas, 21-27 octubre Mendoza, República Argentina.
- CCIR, 1982. Atlas del CCIR de las características ionosféricas. Propagación de medios ionizados. Recomendaciones e Informes del CCIR. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Informe 340-4, Vol. 6, Ginebra.
- EYFRIG, R., 1974. Comment on the ionosphere model by Bradley and Dudeney. Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones Grupo Interino de Trabajo 6/1, Documento H.
- GLEDHILL, J.A., 1976. Aeronomic effects of the South Atlantic Anomaly. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 14:173-187.

HEDIN, A.E., C.G. FESEN, M.E. HAGAN, M.J. BUONSANTO, D.P. SIPLER y M.-L. DUBOIN, 1993. Solar activity variations in mid-latitude thermospheric meridional winds. Eos. Trans. Amer. Geoph. Union, 74(16) Supplement, 228.

RODGER, A.S. y A.J. SMITH, 1989. Antarctic studies of the coupled ionosphere-magnetosphere system. Phyl. Trans. Roy. Soc. Lond. A328:271-287.

Recibido: 26.05.95

Aceptado:20.10.95

* * * *