

ASPECTOS CUALITATIVOS EN EL COMPORTAMIENTO DE foF2 EN LA ANOMALIA DE INVIERNO EN LA REGION F2 DE LA IONOSFERA

Ana Martínez Pulido

Laboratorio de Ionósfera, Instituto de Física, Universidad Nacional de Tucumán.

RESUMEN

Se hace un estudio cualitativo sobre la anomalía de invierno de la región F2 de la ionósfera con datos de sondeadores de estaciones de ambos hemisferios para poner de manifiesto su presencia y destacar las importantes diferencias "inter - hemisféricas". Se consideran las medianas mensuales de foF2 para un mes de invierno y uno de verano de 1980 (alta actividad solar) y 1975 (baja actividad). Los resultados muestran que la anomalía de invierno forma parte del comportamiento regular de la ionósfera del hemisferio norte, presentándose siempre. Los valores del mediodía en el invierno son más altos que los del verano. Para el hemisferio sur la presencia de la anomalía es sólo ocasional. En América del sur está ausente; y en Australia y Sudáfrica aparece solamente en períodos de alta actividad. La ionósfera de bajas latitudes, no ofrece diferencias sustanciales con la ionósfera de latitudes medias, aun cuando mantiene características específicas.

ABSTRACT

Data from both hemispheric sounders are used in order to make an ionospheric F2 region winter anomaly qualitative study, pointing out "inter - hemispheric" differences. Tacking into account a high solar activity year (1980) and a low solar activity year (1975) foF2 monthly medians for one summer month and one winter month are considered. Results show that winter anomaly is always present in the Northern hemisphere, that is, noon foF2 winter values are always greater than summer ones. For the Southern hemisphere, winter anomaly is present only occasionally. In South America it is absent, while in Australia and South Africa it appears for high solar activity periods. Low latitudes ionospheric behaviour is essentially the same that those of middle latitudes, even if it shows specific characteristics.

1. INTRODUCCION

En este artículo se realiza un estudio fundamentalmente cualitativo de la anomalía de invierno de la región F2 de la ionósfera, caracterizada por el hecho, aparentemente paradójico, de presentar, al mediodía, valores de foF2 -frecuencia crítica de la capa F2- mayores en invierno que en verano. Durante la noche la situación se revierte. Esta es una de las clásicas anomalías de esta región, algunas de cuyas características más destacadas

se irán señalando.

De todos los fenómenos anómalos que en cierta forma caracterizan el comportamiento de la región F2, esto es la anomalía ecuatorial, el mantenimiento de la capa durante la noche, etc., la anomalía de invierno tiene la particularidad de poner de manifiesto notables diferencias entre la ionósfera del hemisferio norte y la del hemisferio sur. Tan es así, que si el estudio del comportamiento de la región F2 en invierno hubiera sido iniciado por investigadores del hemisferio sur lo más probable es que no se hubiera hablado de anomalía, ya que, como se verá, su presencia en el sur es sólo ocasional.

2. ANTECEDENTES HISTORICOS

Muy poco después de la invención de las ionosondas, Kirby, Berkner y Stuart (1934) descubrieron que la frecuencia crítica (f_oF2) de la región F2 diurna en el invierno, excedía los valores del verano. Encontraron que por la noche esto no se observaba (la situación se "normalizaba"): entonces los valores de f_oF2 del verano excedían los del invierno, indicando que la anomalía de invierno es un fenómeno diurno y debe guardar alguna relación con el sol.

Estos resultados fueron tan sorprendentes para ellos que llegaron a dudar de que f_oF2 fuera realmente una medida digna de confianza de la densidad electrónica máxima de la ionósfera. Por el contrario, Appleton y Naismith (1935) sostuvieron que f_oF2 era realmente confiable y, desde hace tiempo, el hecho de que en invierno los valores diurnos de la densidad electrónica máxima en la región F2 superan los del verano, está aceptado por todos los autores (Duncan, 1968; King y Smith, 1968).

En estos primeros trabajos, e incluso en algunos más modernos, no se considera la posibilidad de que la situación en el hemisferio sur pudiera ser diferente o pudiera ser igual (ej., Rishbeth y Setty, 1961; Duncan, 1968; Mao-Fu y Newell, 1972, Chauhan *et al.*, 1980; Rawer, 1986; Rishbeth, 1989).

Este comportamiento se hizo conocido en la literatura como "anomalía de invierno" (AI), ya desde los primeros artículos, siendo claramente reflejado en la región F2, a diferencia de las otras capas ionosféricas, E y F1. También se observó (Chauhan *et al.*, 1980) que la anomalía estacional en la densidad electrónica de la región F2 es más pronunciada que la anomalía estacional en el contenido electrónico total (CET). Esto sería consistente con lo que se acaba de decir y sugiere que la anomalía no es uniforme en la columna vertical total sino que es más dominante alrededor del máximo de concentración.

Otro aspecto interesante asociado a este fenómeno y que fue señalado desde los primeros autores (Duncan, 1968) es que el verano y las tormentas magnéticas pueden influenciar la región F similarmente al deprimir las densidades electrónicas. Esto causa turbulencia y mezclado en la baja ionósfera y en consecuencia se incrementa la abundancia de oxígeno molecular y la pérdida electrónica en la región.

3. ASPECTOS DESCRIPTIVOS

Antes de proceder con un análisis cuantitativo, resulta interesante observar algunas particularidades en el comportamiento global de la región F2 de la ionósfera que ponen de manifiesto la existencia de importantes diferencias "inter-hemisféricas", (Martínez Pulido, 1989) así como la presencia misma del fenómeno. Se ha trabajado con estaciones de latitud media y con estaciones de baja latitud, (Tabla I) analizando el comportamiento de la densidad electrónica máxima.

TABLA I
 Datos de estaciones de ambos hemisferios

Estaciones	Latitud Geogr. Geomag.		Longitud Geogr. Geomag.	
Hemisferio Sur				
Puerto Argentino	-51,7	-40,6	-57,8	10,3
Tucumán	-26,9	-15,6	-64,4	4,6
Hermanus	-34,4	-33,6	19,2	81,9
Johannesburgo	-26,1	-27,2	28,1	92,8
Canberra	-35,3	-43,7	149,0	-134,2
Vanimó	-2,7	-12,3	141,3	-147,5
Hemisferio Norte				
Dourbes	50,1	51,7	4,6	88,9
Wakkanai	45,4	35,5	141,7	-152,7
Manila	14,7	3,6	121,1	-168,8

3.1. Densidad electrónica

En la Figura 1 se ha graficado la frecuencia crítica de la región E (foE) para una estación del hemisferio norte (Wakkanai) y otra del hemisferio sur (Puerto Argentino) para dos años, uno de alta (1980) y otro de baja (1975) actividad solar. Esta Figura resulta ilustrativa sobre la "no presencia" en esta región de la anomalía de invierno.

Las Figuras 2 y 3 muestran el comportamiento de cuatro estaciones de latitud media: Dourbes y Wakkanai, por una parte y Puerto Argentino y Canberra por otra, que pertenecen dos al hemisferio norte y dos al hemisferio sur (Tabla I), bajo distintos niveles de actividad solar. Aceptando que un día "medio" puede ser representado mediante las

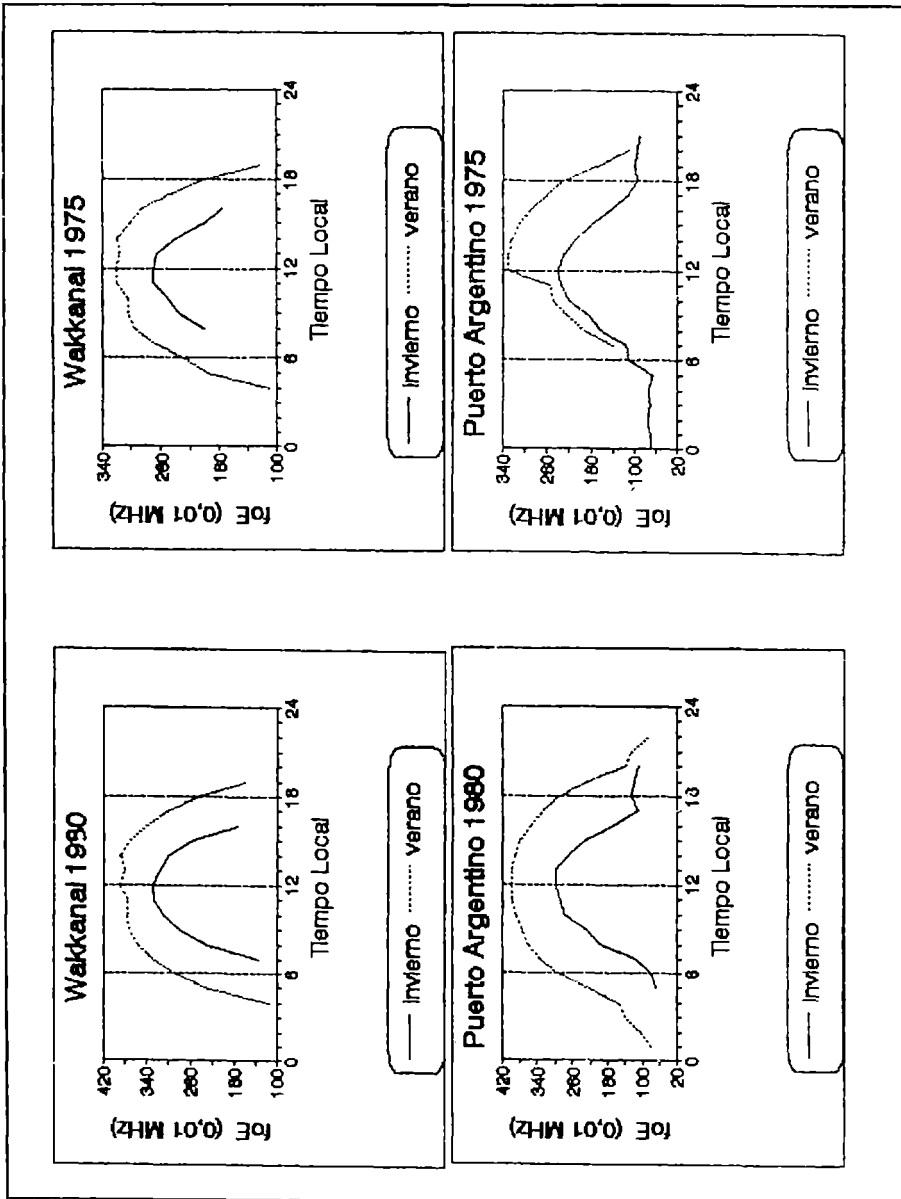


Fig. 1. Medianas mensuales de la frecuencia crítica foE en función del tiempo local para dos estaciones de latitudes medias y de distinta longitud, Wakkanaï del HN y Puerto Argentino del HS. Se ha considerado que los meses de julio y enero reflejan el comportamiento del invierno (verano para el HN) y el verano (invierno para el HS), respectivamente, para el HS. El año 1980 es de alta actividad solar y 1975 de baja. Los valores de foE del verano son siempre superiores a los del invierno, esto es, la anomalía de invierno no se manifiesta a alturas de la región E.

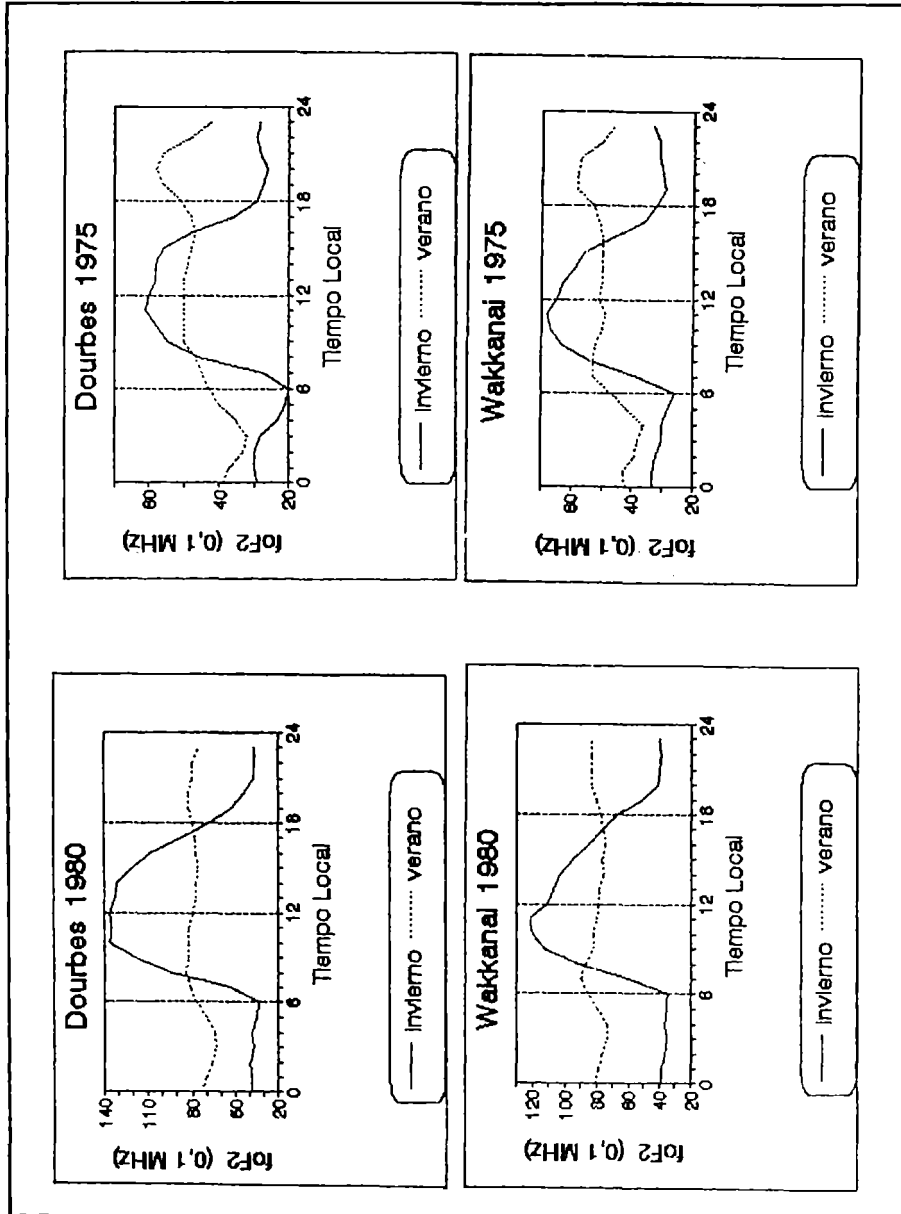


Fig. 2. Medianas mensuales de la frecuencia crítica de la capa F2, foF2, en función del tiempo local para dos estaciones de latitudes medias pero de distinta longitud pertenecientes al hemisferio norte. Se ha considerado que los meses de julio y enero reflejan el comportamiento del verano y el invierno respectivamente. El año 1980 es de alta actividad solar y el año 1975 de baja. Se observa en todos los casos que, aproximadamente, entre las 08.00 y las 17.00 hs. los valores de foF2 del invierno superan los del verano, poniendo de manifiesto la presencia de la anomalía de invierno.

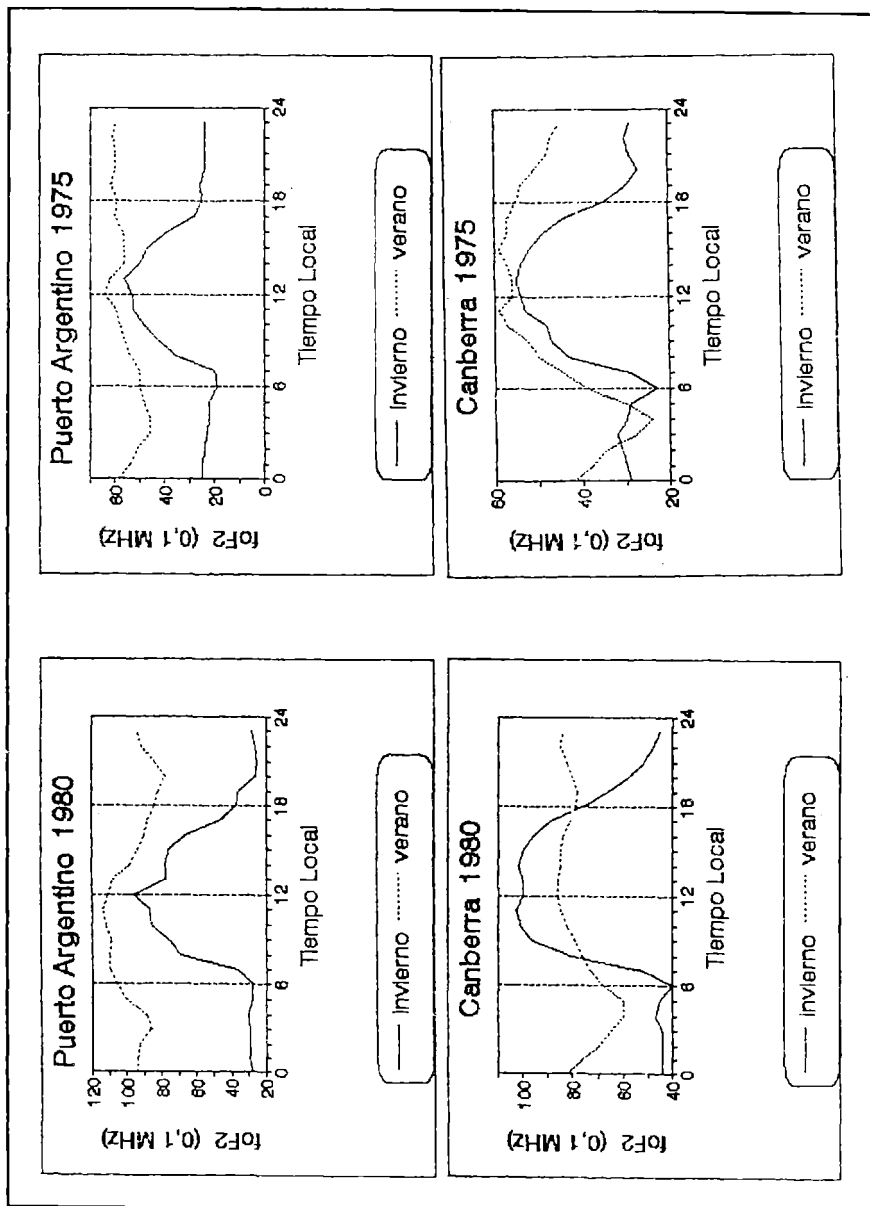


Fig. 3. Se han graficado las medianas mensuales de la frecuencia crítica de la capa F2, foF2, en función del tiempo local para dos estaciones de latitudes medias pero de distinta longitud, pertenecientes al hemisferio sur. Se ha considerado que los meses de julio y enero reflejan el comportamiento del invierno y el verano respectivamente. El año 1980 es de alta actividad solar y el año 1975 de baja. En Puerto Argentino los valores del verano son superiores a los del invierno en ambos casos, poniendo de manifiesto la ausencia de la AI. Sólo se observa la presencia de la AI para Canberra en 1980

medianas mensuales, se puede ver la variación diaria de foF2 para meses característicos del verano y del invierno local graficando julio y enero en función del tiempo local. Se prefiere tomar las medianas mensuales, en este caso, y no los promedios porque éstos son más sensibles a los valores extremos ("out layer").

En Dourbes y Wakkanai, estaciones del hemisferio norte, la anomalía existe para alta y baja actividad solar (para el año 1980, de alta actividad solar $R = 154.6$ y para 1975, de baja actividad, $R = 15.5$, siendo R número medio de manchas solares). Se observa además que los valores de foF2 del invierno para el año 1975 son superiores a los del verano a partir de las 08 hs aproximadamente, alcanzando un máximo de cercano a los 7 MHz a las 11 hs. En 1980, máxima actividad solar, la AI se manifiesta desde las 08 hasta las 17 hs. presentando un máximo de más de 12 MHz a las 11 hs. de tiempo local TL. Durante la noche la situación cambia y los valores de foF2 correspondientes al verano son superiores a los del invierno, para ambos niveles de actividad solar considerados. En general, durante el día, los valores del verano se presentan deprimidos, con máximos poco pronunciados, o casi inexistentes, lo que también constituye una característica de la AI.

En el hemisferio sur, la situación se presenta claramente diferente. Para Puerto Argentino, la anomalía está ausente siempre, tanto en 1975 como en 1980. En Canberra aparece asociada a la actividad solar alta.

3.2. Estaciones de baja latitud

Las estaciones de baja latitud, ecuatoriales y subecuatoriales, despliegan una distribución de foF2 que tiene sus propias características. Sin embargo, la AI suele estar presente también aquí, aun cuando la ionósfera de estas estaciones está bajo los fuertes efectos de la anomalía ecuatorial, cuya influencia se intensifica y se expande cuando aumenta la actividad solar.

A título de ejemplo se puede ver en la Figura 4 el comportamiento de foF2 para Tucumán. La Figura 5 muestra la frecuencia crítica, para Vanimó y Manila (Tabla I), a través de las medianas mensuales de enero y julio considerando, como anteriormente, años de alta y baja actividad solar. En Tucumán, la AI directamente no se presenta; en Manila sí lo hace, tanto para alta como para baja actividad solar, y en Vanimó (hemisferio sur) aparece con alta actividad. De esta manera, frente al fenómeno que estamos estudiando, la ionósfera de bajas latitudes no presentaría diferencias sustanciales con la ionósfera de latitudes medias.

3.3. Estaciones sudafricanas

Estas estaciones, Hermanus y Johannesburgo (Tabla I) no han sido incluidas en las secciones precedentes porque se ha presentado la siguiente dificultad: no hemos podido

acceder a los datos completos del año 1980 para la estación de Hermanus, y por lo tanto, la presentación hubiera quedado un poco "despareja". De todas formas, como el comportamiento de estas estaciones resulta de interés, entre otras cosas porque el hemisferio sur está menos estudiado que el norte, se ha resuelto incorporarlas tomando para Hermanus el año 1991 como el de alta actividad solar. El número medio anual de manchas solares para este año, es de 145,7, comparable al de 1980. La Figura 6, relativa a la frecuencia crítica foF2, indica la presencia de la AI solamente en Hermanus, para alta actividad solar.

4. SUMARIO

La Tabla II resume algunos de los hechos más destacados del estudio precedente, en relación al comportamiento de la densidad electrónica máxima de la capa F2, para las estaciones de latitud media y baja que se han considerado.

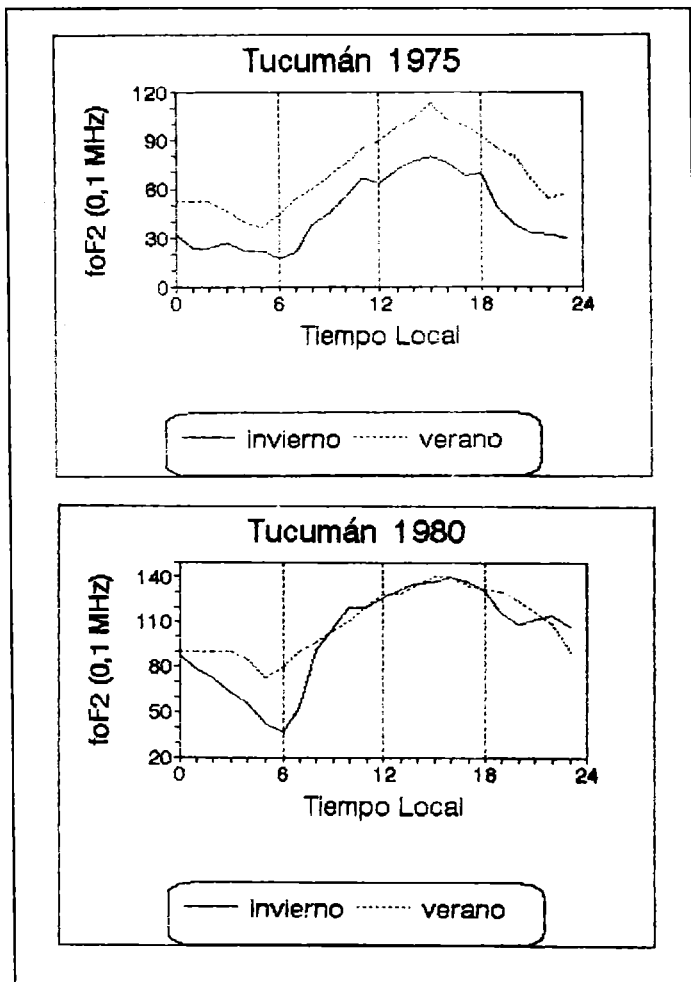


Fig. 4. En la parte superior se han graficado las medianas mensuales de la frecuencia crítica de la capa F2, foF2, y en la parte inferior las medianas mensuales de hpF2, valor aproximado para la altura del pico de concentración, en función del tiempo local para Tucumán, estación de baja latitud. Se ha considerado que los meses de julio y enero reflejan el comportamiento del invierno y el verano, respectivamente. El año 1980 es de alta actividad solar y el año 1975 de baja. Los valores de foF2 no revelan la presencia de la AI, mientras que los de hpF2 muestran un comportamiento anómalo para las alturas.

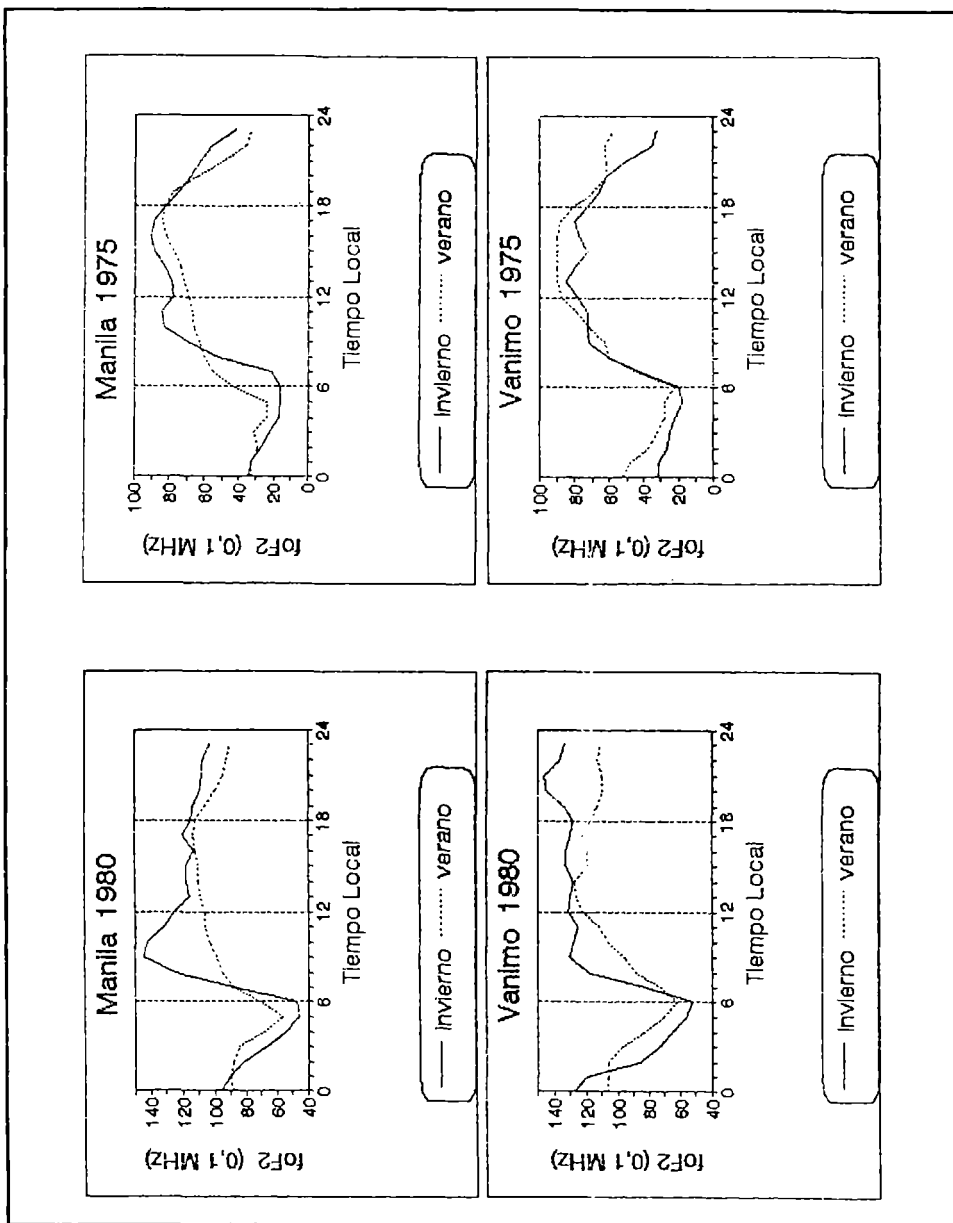


Fig. 5. Medianas mensuales de la frecuencia crítica de la capa F2, foF2, en función del tiempo local para dos estaciones, una del hemisferio norte y otra del hemisferio sur, pero de baja latitud y de longitudes comparables. Tan sólo en Vanimo (HS), para baja actividad solar, no se manifiesta la AI.

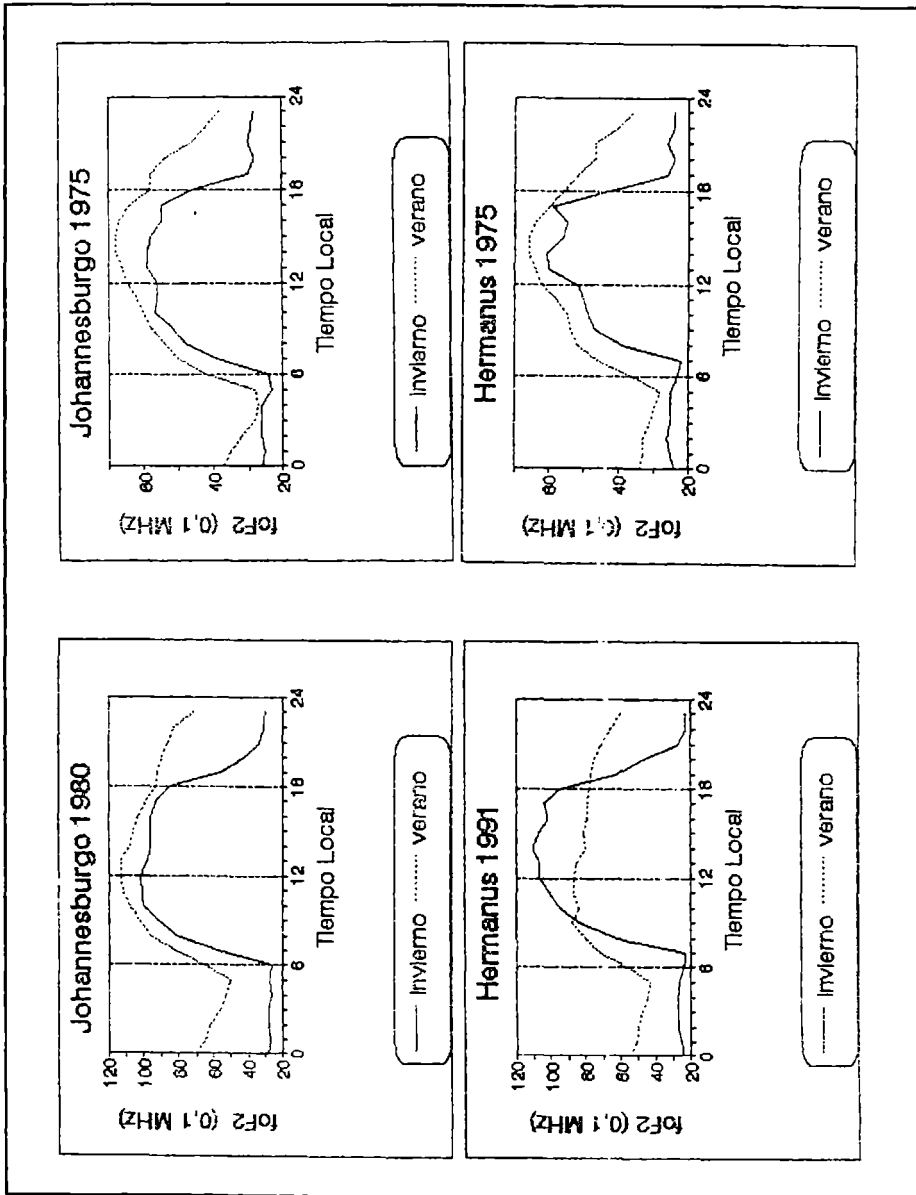


Fig. 6. Medianas mensuales de la frecuencia crítica de la capa F2, foF2, en función del tiempo local para dos estaciones de sudáfricanas de baja latitud. Se ha considerado que los meses de julio y enero reflejan el comportamiento del invierno y el verano respectivamente. Los años 1980 y 1991 son de alta actividad solar y el año 1975 de baja. Solo se observa la presencia de la anomalía de invierno para Hermanus, 1991.

TABLA II
 Descripción sucinta de la anomalía

Estaciones	Presencia		Hora máx. 1980 1975	Intervalo		Δ foF2	
	1980	1975		1980	1975	1980	1975
P. Argentino	no	no					
Tucumán	no	no					
Hermanus(*)	sí	no	14	10-18		3,1	
)	no	no					
Johannesb.	sí	no	10	08-18		2,1	
Canberra	sí	no	21	07-02		3,6	
Vanimo							
Dourbes	sí	sí	12 12	08-17 08-16		5,7 1,0	
Wakkanai	sí	sí	11 11	08-17 08-16		4,1 1,9	
Manila	sí	sí	09 10,11	07-01 09-00		5,5 1,7	

(*) año 1991

En esta Tabla se señala la presencia o no de la anomalía, en el caso de presentarse durante cuánto tiempo lo hace (intervalo) y cuál es el horario del máximo, siempre teniendo en cuenta la actividad solar. El Δ foF2 se refiere a la diferencia entre el foF2 del verano y el del invierno. Como se ve, se ha puesto el acento en el estudio de las estaciones del hemisferio sur.

REFERENCIAS

- Appleton, E. V. e Ingram, L. J., 1935. Magnetic storms and upper atmospheric ionization, *Nature*, London 136, 548-549.
- Chauhan, N. S., Gurm H. S. y Janve, A. V., 1980. Seasonal difference in ionization and height of F2 layer caused by neutrals at low latitudes, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 47, 265-273.
- Duncan, R. A., 1969. F-region seasonal and magnetic-storm behaviour, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 31, 59-70.
- King J. W. y Smith, P. A., 1968. The seasonal anomaly in the behaviour of the F2 layer critical frequency, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 30, 1707-1713.
- Kirby, S. S., Berkner L.V. y Stuart, D. M., 1934. *Proc. Inst. Eng.*, 22, 481.
- Martinez Pulido, A., 1989. Study of the south hemisphere F2 region winter anomaly, *Rev. de*

Aspectos cualitativos en el...

Geofísica, España, 45, 211-216.

Mao-Fou Wu y Newell, R. E., 1972. Computer simulation of the F region seasonal anomaly, J. Atmosph. Terr. Physics, 34, 1635-1646.

Rawer, K., 1986. Ionospheric modelling during past decades, Indian Journal of Radio & Space Physics, 15, 217-234.

Rishbeth, H., 1989. Basic physics of the ionosphere; a tutorial review, College on theoretical and experimental radio propagation science. International Centre for Theoretical Physics, Trieste.