

VARIACIONES TEMPORALES DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE LA REGIÓN F SOBRE CUBA EN CONDICIONES EXTREMAS DE ACTIVIDAD SOLAR

L. Lois Menéndez, B. Lazo Olazabal & E. A. Araujo Pradere

Las distribuciones verticales medianas de la concentración electrónica $N(h)$ sobre la Habana (23,0 N; 82,2 W) fueron obtenidas de los ionogramas horarios relativos a condiciones magneto-tranquilas ($K_p \leq 3$), utilizando el procedimiento de la altura virtual compuesta y el programa ITERAN. Esta base de datos, que considera 8 meses representativos de las diferentes estaciones correspondientes a los años 1976-1977 y 1979-1980 de actividad solar extrema ($R_{12} \approx 15, 150$), se complementó con el examen conjunto de los registros polarimétricos de ese período. En este trabajo, se presentan las variaciones temporales del complejo de parámetros ionosféricos obtenido mediante los métodos de sondeo vertical terrestre y rotación Faraday, incluyendo los isocontornos de densidad electrónica con la altura; y se discuten las principales características que exhibe su compartamiento diario y estacional en años de mínima y máxima actividad solar.

Palabras claves: Ionosfera; Región F; Perfiles $N(h)$.

TEMPORAL VARIATIONS OF F REGION PARAMETERS OVER CUBA DURING EXTREME SOLAR ACTIVITY - *Starting from hourly ionograms and using the procedure of compound virtual height, mean vertical distributions over Havana City (23.0 N; 82.2 W) during both magnetically quiet ($K_p \leq 3$) and extreme solar activity conditions were obtained. These data were complemented with the analysis of polarimetric records. Periods considered are 1976 - 1977 for low solar activity and 1979 - 1980 for high solar activity. In this work, time variations of ionospheric parameters (obtained by vertical ground sounding and Faraday rotation technique) are presented. The main characteristics of these daily and seasonal behavior during maximum ($R_z \approx 150$), and minimum ($R_z \approx 15$) are analyzed, and the principal physical processes are discussed.*

Key words: *Ionosphere; F region; N(h) profile.*

Instituto de Geofísica y Astronomía. CITMA.
AVE. 212 # 2906 % 29 Y 31. LA FISA.
CIUDAD HABANA. CUBA
Teléfonos: (537) 218435, 210644
Fax: (537) 339497
E-mail: earaujo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios sobre la capa F2 en Cuba fueron realizados con los datos de sondeo vertical, y estuvieron dirigidos a establecer las variaciones diarias, estacionales y cíclicas de la frecuencia crítica foF2 (Lazo & Palacio, 1974) y de la altura hp de su máximo de ionización, considerando un modelo parabólico (Palacio et al., 1975).

Posteriormente Jakowski et al. (1981, 1983) caracterizaron el comportamiento de los parámetros integrales Nf (contenido electrónico ionosférico) y T (grosor equivalente de la ionosfera) durante baja actividad solar (1974-1976), utilizando el método de rotación Faraday.

En este trabajo, se complementan estos estudios al considerar las variaciones temporales de los perfiles N(h), en conjunción con la data polarimétrica. Para ello, los autores eligieron 4 meses de mínima (enero' 77, junio' 76, abril' 76, septiembre' 76) y 4 meses de máxima actividad solar (diciembre' 79, junio' 79, abril' 80, octubre' 79); contentivos de un volumen representativo de información ionosférica horaria de sondeo vertical y rotación Faraday, bajo condiciones magnéticas tranquilas ($k_p \leq 3$) y extremas de actividad solar. Los perfiles N(h) promedio horarios fueron calculados a partir del inograma mediano-mediente el procedimiento de la curva de altura virtual compuesta, sugerido por King (1960), y con la ayuda del programa ITERAN, basado en el método laminar de segundo orden de Guliaeva (1978).

CONCENTRACIÓN ELECTRÓNICA MÁXIMA (Nm/foF2)

Las curvas características de la variación diaria de foF2 para los diferentes meses de mínima (1976-1977) y máxima (1979-1980) actividad solar se muestran en la Fig. 1. (En este epígrafe, amén de su denominación, nos referiremos continuamente al comportamiento de foF2 por comodidad, ya que ambos parámetros están cuadráticamente relacionados). En ambos períodos, los valores se incrementan desde un mínimo alrededor de las 05 LT hasta un pico situado alrededor del mediodía local, para luego disminuir en horas de la tarde y de la noche, cuando se observan máximos secundarios preferentemente en el intervalo de las 01-03 LT.

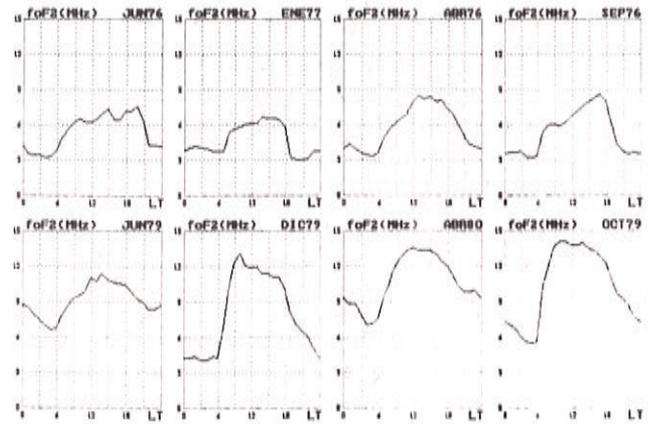


Figura 1 - Variaciones temporales de foF2 sobre la Habana para baja (1976-1977) y alta actividad solar (1979-1980).

Figure 1 - Temporal variations of foF2 over Havana, for low (1976-1977) and high solar activities (1979-1980).

La depresión de las 05 LT es característica en los registros de ionización en Cuba y en otras latitudes. Dicho efecto es atribuible al rápido incremento de la temperatura electrónica (T_e) a la salida del Sol. Toda vez que la escala de altura es proporcional a T_e , un aumento en la misma produce tanto una expansión de la capa como una reducción en la concentración electrónica y en la pérdida de calor, permitiendo un mayor incremento en T_e (Hanson, 1963; Da Rosa, 1966). Se ha sugerido que este comportamiento de la ionización a las 05 LT podría ser explicado suponiendo que el coeficiente de pérdida (β) depende directamente de la temperatura, *i.e.* $\beta = \beta(T_e)$, y los resultados experimentales de Evans (1968) confirmaron dicha hipótesis.

Las variaciones del pico principal manifiestan varias características temporales: aparece después del mediodía en baja actividad solar (13-20 LT), y también antes en alta; se observa en horas más tempranas -para cada estación del año-al incrementarse la actividad solar; y ocurre más temprano en el solsticio de invierno (10-14 LT) que en el de verano (14-20 LT). Por último, su paso diurno resulta más irregular durante el verano de mínima actividad solar, en la capa F2 exhibe tres picos bien definidos, mientras es relativamente plana en invierno. Esto pudiera relacionarse con la variación estacional de los vientos termosféricos, cuya mayor intensidad en invierno provoca una capa F2 más compacta (Strobel & Mc Elroy, 1970).

En cuanto a su intensidad, los valores del pico principal en NmF2 son 2-4 veces mayores durante alta actividad solar, siendo máximo este factor en invierno (4,0) y mínimo en verano

(2,3). Además, tanto ellos como los valores al mediodía son superiores en los equinoccios -especialmente en el otoño- de ambos periodos de actividad solar, *i.e.* sufren variaciones semianuales; mientras la anomalía estacional (mayores valores en invierno que en verano) sólo se observa en alta actividad.

La causa física más probable de ambos fenómenos descansa en los cambios de composición atmosférica, generados por los movimientos ondulatorios que se establecen a consecuencia del desigual calentamiento de los hemisferios. Por ello, este mecanismo es primariamente efectivo durante máxima actividad solar, lo cual es consistente con los resultados obtenidos.

Las variaciones estacionales de las concentraciones atómicas (O) y moleculares (O₂, N₂) en la termosfera, sugeridas por Rishbeth & Setty (1961), han sido evidenciadas por diferentes estudios, aunque aún no de forma decisiva. En la literatura se reportan razones [O]/[O₂] y [O]/[N₂] máximas en equinoccio e invierno, cuya relación respecto al verano es un factor del orden de 2 y superior. Estos cambios, si bien sujetos a errores experimentales grandes, deben afectar considerablemente las razones de producción y pérdida, provocando las anomalías mencionadas.

En Cuba, el cociente de los valores máximos y mínimos relativos a los picos diurnos en NmF₂ es 1,6 acorde con lo reportado por Mayr & Mahajan (1971) para estaciones de baja latitud. Además, el pico de diciembre '79 es 1.4 veces superior al de junio '79, lo que permite, en base al modelo desarrollado por Lumb & Setty (1976), suponer la existencia de incrementos en [O] durante el invierno, y en [O₂] y [N₂] en el verano, a los 120 km de altura sobre la Habana, que favorezcan la producción en aquél y las pérdidas en este.

Por otro lado, la ausencia de la anomalía estacional durante baja actividad solar se explica a partir de los vientos neutrales, que de hecho desempeñan un rol important en el comportamiento de la capa F₂. Es interesante que inicialmente se apelara a ellos para explicar la anomalía estacional (Khol & King, 1967). La idea básica parte de que los vientos meridionales en invierno son mucho más fuertes que los de verano, casi el doble durante el día. Como la dirección de la componente norte-sur de la velocidad del viento es hacia el polo en condiciones diurnas, el movimiento hacia abajo de la ionización es más intenso y es mayor la acumulación de carga a menores alturas en invierno. Supuestamente se obtendrían mayores NmF₂ y, naturalmente, menos hmF₂.

El segundo aspecto es consistente con los resultados observacionales y la teoría lo confirma, mientras no es este el caso en cuanto a las variaciones de NmF₂ se refiere. Las soluci-

ones numéricas de la ecuación de continuidad muestran que los movimientos asociados reducen NmF₂ más intensamente en invierno; *i.e.* el decrecimiento de la ionización a menores alturas debido al incremento de la razón de pérdida es más efectivo que su aumento a consecuencia del transporte de plasma hacia abajo.

Este hecho, y el control que el ion-drag ejerce sobre la magnitud de los vientos, permite entender la ausencia de la anomalía estacional durante mínima actividad solar. Su opuesto sentido al desarrollo de los cambios de composición inhiben esta irregularidad en ambos periodos, pero con el decrecimiento de la actividad solar pueden neutralizarla.

Los incrementos nocturnos de la ionización y el fenómeno de la anomalía estacional nocturna también se visualizan en los promedios de foF₂, siendo su comportamiento consistente con el cuadro obtenido anteriormente en Cuba (Jakowski et al., 1986; Lois et al., 1990).

ALTURA REAL DEL MÁXIMO DE CONCENTRACIÓN (hmF₂)

Los patrones promedios de hmF₂ (Fig. 2) no resultan tan regulares como los relativos a foF₂, ya que exhiben sucesivos extremos relativos a lo largo de todo el día. Los más significativos son los mínimos de las 06-08 LT y 18-19 LT, entre los cuales se desarrolla una cierta variación diurna; y máximos a las 22-24 LT y 04-06 LT, aunque en junio '79 se observan sólo inflexiones en este último horario. La existencia de un máximo alrededor de las 05 LT en hmF₂ favorece la explicación dada anteriormente sobre la depresión en NmF₂ en este intervalo.

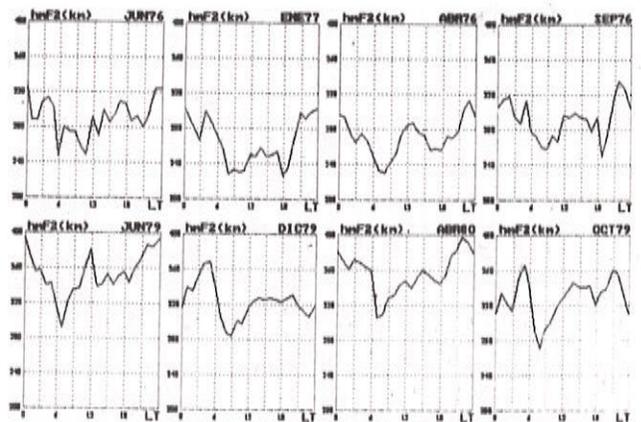


Figura 2 - Variaciones temporales de hmF₂ sobre la Habana para baja (1976-1977) y alta actividad solar (1979-1980).

Figure 2 - Temporal variations of hmF₂ over Havana, for low (1976-1977) and high solar activities (1979-1980).

En general, y en concordancia con la teoría del viento neutral, el comportamiento de hmF2 presenta valores nocturnos superiores a los diurnos, mayores en verano que en invierno, y que se incrementan con el aumento de la actividad solar.

En particular, los valores diurnos en verano superan a los de invierno, tanto si se desarrolla la anomalía estacional (alta actividad solar) como si no se desarrolla (baja actividad solar). Estas diferencias, que llegan incluso a sobrepasar los 50 km, se justifican en base a la acción combinada de los vientos neutrales y los cambios de composición en la región del máximo de la capa F2.

Las soluciones variables con el tiempo de un modelo controlado por fotoionización, pérdida lineal y difusión, proveen una descripción simple del comportamiento de hmF2: valores altos y constantes a partir de la medianoche, un mínimo pronunciado después del amanecer y antes del mediodía -ya que la razón de producción se incrementa más rápidamente en la baja región F- y su aumento posterior hasta los valores nocturnos, debido a la importancia que revisten los procesos de pérdida y difusión en tales momentos, y más aún a medida que el control solar se va debilitando y cesa (Rishbeth & Garriot, 1969).

Aproximadamente, esta tendencia se observa en las curvas de hmF2, principalmente durante alta actividad solar. Ello debe estar relacionado con el efecto del viento neutral, que en este caso constituye una perturbación, pues su influencia es mayor en baja actividad solar -debido al menor ion-drag- y en condiciones invernales cuando puede llegar a ser el doble que en verano. Esto último también concuerda con los resultados experimentales, por cuanto en enero '77 hmF2 se encuentra más disminuida y diferenciada del paso teórico que en junio '76. No obstante, las variaciones respecto al modelo son diversas, principalmente debido a la influencia de otros procesos de transporte y térmicos.

Desde el punto de vista de las radiocomunicaciones, hmF2 es de gran utilidad en las tareas de pronóstico del estado de la ionosfera y de las condiciones de propagación por ondas cortas, especialmente al determinar la pérdida de transmisión de la onda ionosférica y la intensidad de campo en el punto receptor. Por ello, Lois et al. (1991) realizaron un análisis comparativo de los valores reales de hmF2 -correspondiente al masivo de datos documentado en este trabajo- con los obtenidos por diferentes modelos simples que considera la fuerte relación inversa existente entre el factor de transmisión $M(3000)F_2$ y hmF2.

Aplicando una serie de métodos estadísticos, los autores señalan el superior ajuste de los modelos locales desarrollados y la conveniencia de utilizarlos en las tareas operativas del pronóstico a largo plazo en la región de Cuba, y en aquellos casos que sea necesario emplear procedimientos globales -v.g. por extenderse la traza fuera del marco regional-, proponen la adopción del esquema BES (Bilitza et al., 1979), de su implementación en el IRI (Rawer, 1981) o de la variante híbrida del CCIR (CCIR, 1983).

CONTENIDO ELECTRÓNICO IONOSFÉRICO (N_F)

El contenido electrónico ionosférico (N_F) fue calculado por mediciones sobre el ángulo de rotación de señales linealmente polarizadas, emitidas desde un satélite geostacionario (Bettac et al., 1979).

En la Fig. 3 se exhiben los promedios temporales de N_F que muestran estrechas analogías con las de foF2. Las diferencias no son esenciales: el mínimo al amanecer es ligeramente posterior (05-06 LT); el máximo diurno ocurre siempre con posterioridad al mediodía (12:30-18 LT), y sus características temporales no son tan precisas; el nivel nocturno es relativamente constante; y su comportamiento diario mucho más regular. Todas ellas pueden explicarse por el carácter integral de este parámetro.

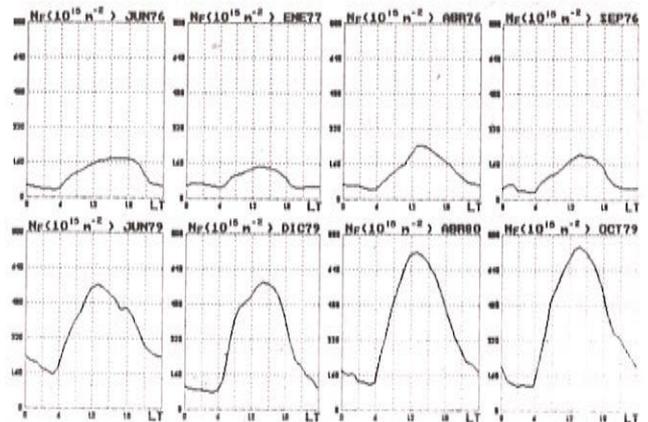


Figura 3 - Variaciones temporales de N_F sobre la Habana para baja (1976-1977) y alta actividad solar (1979-1980).

Figure 3 - Temporal variations of N_F over Havana, for low (1976-1977) and high solar activities (1979-1980).

Por otro lado, los picos principales de N_F son 3-4 veces mayores en alta actividad solar -ligeramente superior a NmF_2 -, siendo este factor máximo en invierno (4,1) y mí-

nimo en primavera (2,9), mientras en verano es intermedio (3,2). Además, muestran las irregularidades anteriormente mencionadas en foF2: el efecto semianual en ambos períodos, pero con valores supremos en primavera (baja actividad), cuando es mayor el cociente máximo-mínimo (1,8), u otoño (alta actividad solar); la anomalía estacional sólo durante máxima actividad solar, aunque muy disminuida; y la anomalía estacional nocturna en baja actividad solar, con incrementos algo mayores que en NmF2.

Estas particularidades responden al hecho de que N_p es fundamentalmente una medida de la ionización de la ionosfera superior y refleja su comportamiento específico de forma integral hasta aproximadamente $hF = 2000$ km (Titheridge, 1973). En varios trabajos sobre las variaciones estacionales de la ionosfera en Cuba (e.g. Jakowski et al., 1985; Lois, 1985) se discute el efecto semianual de N_p . En ellos se muestra que a lo largo del período julio '74-junio '78 los picos se maximizan en otoño durante 1974-75 y 1977, y en primavera sólo durante 1976, cuando la razón equinoccial y el nivel de actividad solar son mínimos.

En ese período de baja actividad solar, dichos autores no observan la anomalía estacional diurna y la razón solsticial (N_p^S/N_p^W) es también inferior (1,3) a la experimentada por NmF2 (1,7). Ello es consecuencia de la mayor efectividad de los vientos en la región crítica de la capa F2 que en la ionosfera superior.

Asimismo, la presencia de una débil anomalía estacional en alta actividad solar puede comprenderse en base a la relevancia de los fenómenos de transporte. Los cambios de composición, que afectan las razones fotoquímicas por encima de hmF2, pueden no ser significativos debido a que la difusión es el proceso dominante a estas alturas. Además, como la concentración electrónica en la ionosfera exterior no sólo depende de NmF2, sino fundamentalmente de hmF2 -que es un indicador de los efectos del viento neutral-, debe incrementarse en verano (altos hmF2) o disminuir en invierno (bajos hmF2).

GROSOR EQUIVALENTE DE LA IONOSFERA (T)

El grosor equivalente de la ionosfera ($T = N_p/NmF2$) manifiesta grandes fluctuaciones en sus valores, por lo que sus variaciones no muestran un cuadro claro (Fig. 4). No obstante, dos patrones fundamentales se advierten, si nos limitamos a las tendencias de sus promedios tranquilos.

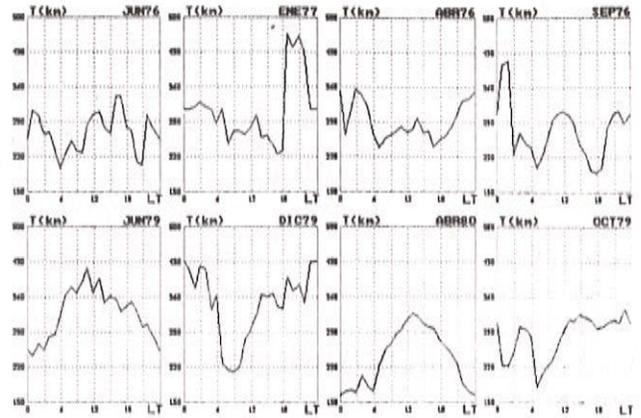


Figura 4 - Variaciones temporales de T sobre la Habana para baja (1976-1977) y alta actividad solar (1979-1980).

Figure 4 - Temporal variations of T over Havana, for low (1976-1977) and high solar activities (1979-1980).

En baja actividad solar los valores nocturnos son superiores a los diurnos -lo que se corresponde con la mayor relevancia de la ionosfera superior por la noche (Lois et al., 1985)-, notándose mínimos alrededor de la salida y el ocaso del Sol y entre ellos una variación diurna relativamente definida con un máximo secundario cercano al mediodía. El pico pronunciado entre las 19-21 LT ($T = 450$ km) durante el solsticio de invierno, constituye el efecto más relevante de este período.

Por otro lado, en alta actividad solar se presentan dos patrones, uno semejante al de baja: en diciembre '79 -cuando también se observan picos notables entre las 19-03 LT- y en octubre '79 (condiciones de invierno), pero con el mínimo posterior a la salida del Sol muy marcado; y el otro significativamente diferente: en junio '79 y abril '80 (condiciones de verano), pues exhibe una tendencia creciente desde valores nocturnos mínimos en la medianoche hasta un máximo absoluto al mediodía.

En todos los casos, las variaciones diurnas de T muestran una cierta correlación con la temperatura del plasma, que refleja la importancia de los procesos de difusión. Los superiores valores nocturnos (patrón invernal de alta, y durante baja actividad solar), y particularmente los máximos en las noches de invierno, apuntan hacia el predominio de otros mecanismos de transporte, i.e. del flujo de plasma de la protonosfera a la ionosfera.

Estos máximos reflejan las desiguales contribuciones de la difusión plasmaférica sobre N_p y NmF2, en momentos que ambos parámetros ionosféricos disminuyen. No

obstante, expresan también el aporte de otros fenómenos, les como los debidos a fuerzas dinámicas, que elevan hmF2 y producen efectos opuestos.

Por último, en base al grosor equivalente, que como indica su nombre es una medida de la extensión vertical de la ionosfera, puede valorarse otro parámetro de gran importancia: la escala de altura H, pues para una capa de Chapman equivalente $T = 4,13 H$.

CONTENIDO ELECTRÓNICO HASTA hmF2 (Nsp)

El comportamiento del contenido electrónico sub-pico ($N_{sp} = \int_{h_o}^{h_m} N dh$) se presenta en la Fig. 5 y resulta típico del que experimentan NmF2 y N_p . Los máximos diurnos -como en N_p se desarrollan alrededor del mediodía y exhiben claramente el efecto semianual. Sin embargo, no se advierte la anomalía estacional ni en condiciones de alta actividad solar, aunque la relación pico verano-invierno cercana a la unidad (1,07) en contraposición con la relativa a baja actividad solar (1,51).

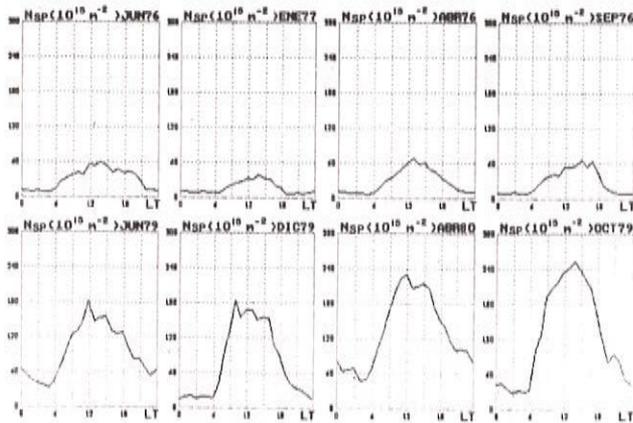


Figura 5 - Variaciones temporales de Nsp sobre la Habana para baja (1976-1977) y alta actividad solar (1979-1980).

Figure 5 - Temporal variations of Nsp over Havana, for low (1976-1977) and high solar activities (1979-1980).

Este hecho está determinado ante todo por los mayores valores de hmF2 durante junio' 79. Por ejemplo, a las 12 LT-coincidente con el máximo absoluto en Nsp- hmF2 alcanza 380 km en verano y 320 km en invierno; siendo el contenido electrónico hasta los 320 km superior durante el invierno.

Por otro lado, los niveles nocturnos durante baja actividad solar son aproximadamente constantes y semejantes entre sí, no observándose la anomalía de invierno; mientras que en alta actividad solar se manifiestan sólo incrementos nocturnos de moderada intensidad.

A partir de Nsp pueden valorarse también otros parámetros de interés en problemas de modelaje: la escala de altura H cercana al nivel de hmF2, pues $N_{sp}/NmF2 = 1,31 H$ para una capa tipo Chapman (Wright, 1960); la relación R entre los contenidos electrónicos por encima y por debajo del pico de ionización ($R = N_p/N_{sp} - 1$); y, con la información conjunta de R y T, el semiespesor y_m de una capa parabólica equivalente ($y_m = 1,5 T/(R + 1)$).

En particular, como puede observarse en la Fig. 6, el parámetro R exhibe máximos nocturnos y un mínimo durante el día no muy bien definidos en junio' 79, y extremos invertidos en abril' 80; *i.e.* un comportamiento análogo al de T, lo cual resulta natural por la génesis de ambos.

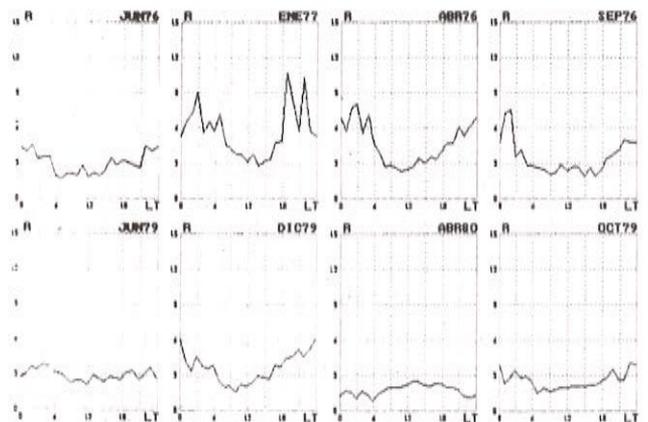


Figura 6 - Variaciones temporales de R sobre la Habana para baja (1976-1977) y alta actividad solar (1979-1980).

Figure 6 - Temporal variations of R over Havana, for low (1976-1977) and high solar activities (1979-1980).

Los máximos absolutos que se observan en R durante el solsticio de diciembre, fundamentalmente en baja actividad solar ($R = 10,5$), constituyen el aspecto más notable de su variación diaria, y favorecen a los procesos de acoplamiento entre la ionosfera y la protonosfera como generadores de la anomalía estacional nocturna.

CONCENTRACIÓN ELECTRÓNICA HASTA hmF2

Los isocontornos temporales de $N(h)$ se muestran en la Fig. 7, donde las curvas inferiores corresponden a $N = 1 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$, y sucesivamente aparecen los niveles de isodensidad múltiplos de 10^5 cm^{-3} , hasta 5-8 en baja y 15-24 en alta actividad solar, que son rematados superiormente por los contornos $N = NmF2$. Estos mapas resumen el comportamiento de la distribución en altura de la ionización, de manera sucinta para cada período analizado, bajo condiciones magneto-tranquilas y por debajo de hmF2.

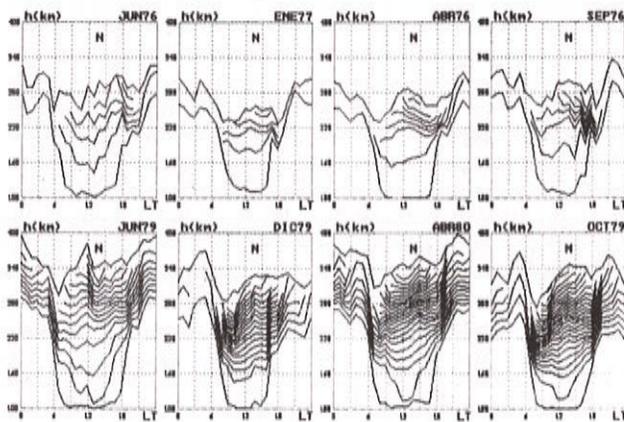


Figura 7 - Variaciones temporales de $N(h)$ sobre la Habana para baja (1976-1977) y alta actividad solar (1979-1980).

Figure 7 - Distributions of $N(h)$ over Havana, for low (1976-1977) and high solar activities (1979-1980).

En la misma se observa que, en general, los contornos de menor densidad manifiestan mayor simetría alrededor del mediodía -cuando se advierten los menores valores de altura-, comparados con los de mayor densidad de carga. Ello implica que $N(h)$ a alturas fijas sigue aproximadamente las variaciones del ángulo cenital del Sol, como es de esperar en la baja ionosfera para un modelo de Chapman y equilibrio fotoquímico. A medida que se incrementa N resulta más evidente la falta de simetría respecto al mediodía, manifestándose en tales contornos las tendencias discutidas para hmF2 (contorno $N = NmF2$) en base al modelo de producción, pérdida y difusión.

Los isocontornos de N muestran niveles muy superiores en alta actividad solar, y gradientes mayores que en baja -principalmente con la elevación de la altura-, de acuerdo

con la teoría. Además, se observa un decrecimiento significativo de 30-100 km al mediodía para los niveles de $2-4 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$ con el incremento de la actividad solar, excepto durante el solsticio de diciembre en que es de sólo unos 10 km.

Por otro lado, los isocontornos temporales muestran gradientes máximos después de la salida del Sol -asociados al rápido incremento de los procesos de fotoionización en toda la región F- y superiores en invierno con relación al verano. Asimismo, dN/dt para alturas fijas es mucho mayor y N comienza a incrementarse antes en invierno y durante alta actividad solar, en comparación con las situaciones contrapuestas.

En particular, el comportamiento estacional observado en dN/dt se conoce como la anomalía estacional de la salida del Sol, y su causa posiblemente radique en los cambios de composición que sufre la atmósfera superior. Los mismos afectan sensiblemente el balance fotoquímico, y fundamentalmente la razón efectiva de producción, lo que debe manifestarse con mayor intensidad en este intervalo temporal.

Las variaciones diarias de $N(h)$ para alturas fijas -en la región F, a partir de los 200 km y hasta hmF2- resultan similares a las de NmF2, aunque con sus especificidades, particularmente en cuanto al desarrollo de las anomalías encontradas en las otras medidas de ionización. Con la disminución de la altura, se advierte que la anomalía estacional diurna aparece en baja y se mantiene en alta actividad solar; el efecto semianual tiende a desaparecer en ambos períodos de actividad solar, observándose una variación anual con picos en otoño o invierno y mínimos en verano; y la anomalía estacional nocturna persiste durante baja actividad solar.

Por último, Lois et al. (1992) compararon los perfiles $N(h)$ sobre Cuba con los modelados mediante el IRI-86, para las condiciones correspondientes a los 8 meses que nos ocupan, y considerando las dos opciones que este modelo global ofrece: empleo de los datos de foF2 y hmF2 del CCIR (IRI-CCIR) y de los observados en nuestra estación (IRI-CUBA).

Los mapas de isocontornos confeccionados manifestaron una serie de analogías con los relativos a los datos recolectados: aceptable acuerdo temporal para una resolución horaria, semejantes niveles de intensidad, y razonable correspondencia al nivel crítico y durante el día; mientras visualizaron diferencias significativas para alturas inferiores ($h < hmF2$) y condiciones nocturnas.

Las desviaciones en alturas para N fijo, los corrimientos en concentración para h fijo y las frecuencias de ocurrencia de

desviaciones superiores a niveles fijos, mostraron mayores discrepancias en densidad que en altura, no observándose - como en otras latitudes (Pasheva et al., 1984; Hoang et al., 1984)- desviaciones frecuentes en altura que excedan los 50 km. El mejor ajuste se observó en la región crítica de la capa F2, con errores del 15-20% en NmF2 e inferiores a 20 km en hmF2; mientras las discrepancias se incrementaron notablemente con la disminución en altura. Además, el acuerdo entre los datos modelados y experimentales no dependió substancialmente de la actividad solar; y fue mayor durante el día y en los equinoccios, que en condiciones nocturnas y solsticiales. No puede afirmarse que la opción IRI-CUBA mejore substancialmente su correspondencia con los datos empíricos.

En general, los autores concluyen que el IRI modela razonablemente la región del máximo de la capa F2, y sus resultados pueden ser utilizados en el pronóstico a largo plazo del estado de la ionosfera sobre Cuba.

CONCLUSIONES

En este estudio se hace un análisis detallado de las variaciones del complejo de parámetros fundamentales de la región F ionosférica, así como la posible interpretación física en cada caso. La obtención de este complejo es el primer y substancial aporte del trabajo, por cuanto los niveles cuantitativos que alcanzan y las variaciones que experimentan -independientemente de su interpretación física- conforman la base de datos imprescindible de un modelo empírico de la ionosfera sobre Cuba para condiciones extremas de actividad solar.

REFERENCIAS

- BETTAC, H.D., JAKOWSKI, N., KUGLAND, H.G., WIENER, A., LOIS, L., & LAZO, B.** - 1979 - Determinación del contenido electrónico total por mediciones sobre señales de un sat. Ciencias de la Tierra y el Espacio, **1**: 151-168.
- BILITZA, D., SHEIKH, N.M. & EYFRIG, R.** - 1979 - A global model for the height of the F2-peak using M3000 values from the CCIR numerical map. Telecomm. J., **46**(9):549-553.
- CCIR** - 1983 - CCIR Atlas of ionospheric characteristics. Report 340. UIT, Genova, 390 pp.
- DA ROSA, A. V.** - 1966 - The theoretical time-dependent behavior of the ionosphere electron gas. J. Geophys. Res., **71**: 4107-4120.
- EVANS, J.V.** -1968 - Sunrise behavior of the F layer at midlatitudes. J. Geophys. Res., **73**(11):3489-3504.
- GULIAEVA, T.L.** - 1978 - Programa ITERAN en FORTRAN para el análisis N(h) iterativo rápido de ionogramas [en ruso]. IZMIRAN, Moscú, 39 pp.
- HANSON, W. B.** - 1963 - Electron temperatures in the upper atmosphere. Space Res., **3**: 282-302.
- HOANG, L., SERAFIMOV, K.B., KUETIV, I. & KARADIMOV, M.** - 1984 - Bottomside N(h) profiles over Vietnam and their comparison with IRI. Adv. Space Res., **4**(1):65-70.
- JAKOWSKI, N., BETTAC, H.-D., LAZO, B. & LOIS, L.** - 1981 - Seasonal variation of the columnar electron content of the ionosphere observed in Havana from July 1974 to April 1975. J. Atmosph. Terr. Phys., **43**(1):7-11.
- JAKOWSKI, N., BETTAC, H.-D., FELSKE, D., LAZO, B. & LOIS, L.** - 1983 - Observations of the total electron content of the ionosphere in Havana during the period of low solar activity 1974-76. Gerlands Beitr. Geophysik, **92**(2-4):151-166.
- JAKOWSKI, N., PAASCH, E., LAZO, B. & LOIS, L.** - 1985 - Semiannual variations of TEC at low and middle latitudes. Proceedings of the International Scientific Seminar: Influence of the upper atmosphere on motion of artificial satellites of the earth, Stara Zagora, 1983, AC Bulgaria, Sofia, pp. 151-166.
- JAKOWSKI, N., FÖRSTER, M., LAZO, B. & LOIS, L.** - 1986 - Interhemispheric ionospheric coupling at the american sector during low solar activity. I. Observations. Gerlands Beitr. Geophysik, **95**(3):219-227.
- KING, G. A. M.** - 1960 - A convenient method of getting representative ionospheric heights. J. Geophys. Res., **65**: 1623-1624.
- KOHL, H. & KING, J. W.** - 1967 - Atmosphere winds between 100 and 700 km and their effects on the ionosphere. J. Atmosph. Terr. Phys., **29**: 1045-1062.
- LAZO, B. & PALACIO, L.** - 1974 - La capa F2 de la ionosfera sobre Cuba en períodos de máxima y mínima actividad solar. Comunicaciones, **15**: 51-58.
- LOIS, L.** - 1985 - Variabilidad de la ionosfera sobre Cuba [en ruso]. Tesis de Doctor en Ciencias Fís-Mat., IZMIRAN, Moscú, 238 pp.
- LOIS, L., JAKOWSKI, N. & HORROUTINIER, R.** - 1985 - Caracterización estadística de la variabilidad de la capa F2 sobre Cuba (1974-1975). Cien. Tierra Espacio, **10**: 15-30.

- LOIS, L., PÉREZ, J., LAZO, B., JAKOWSKI, N & LANDROK, R.** - 1990 - Incrementos nocturnos de la ionización en la región F sobre Cuba: Relación con la actividad solar [en ruso]. *Geomagn. Aeron.*, **30**(1):98-106.
- LOIS, L., LAZO, B. & ARAUJO, E.** - 1991 - Valoración de diferentes medidas de hmF2 en Cuba. *Geofísica Internacional*, **30**(4):257-262.
- LOIS, L., LAZO, B. & ARAUJO, E.** - 1992 - Perfiles N(h) sobre Cuba y su comparación con los resultados del IRI. *Geofísica Internacional*, **31**(1):89-93.
- LOIS, L., GONZÁLEZ, E., RUIZ, M., LAZO, B. & CABALLERO, R.** (en prensa) - Estudio comparativo de diferentes métodos simples para determinar la altura máxima y el semiespesor de la capa F2 sobre Cuba en condiciones extremas de actividad solar. *Cien. Tierra Espacio*.
- LUMB, H.M. & SETTY, C. S. G. K.** - 1976 - The F2 layer seasonal anomaly. *Ann. Geophys.*, **32**(3):243-256.
- MAYR, H.G. & MAHAJAN, K. K.** - 1971 - Seasonal variation in the F2 region. *J. Geophys. Res.*, **76**(4):1017-1027.
- PALACIO, L., ZEVAKINA, R. A. & LÓPEZ, A.** - 1975 - La altura de la capa F2 en Cuba para condiciones tranquilas y perturbadas. I Jornada Científica IGA, ACC, 7 pp.
- PASHEVA, TS., SAMARDZIEV, D., BENKOVA, N. P., KOCHENOVA, N. A. & KUSHNEREVSKI, JU.** - 1984 - Observed and model N(h) profiles for the Bulgarian region. *Adv. Space Res.*, **4**(1):61-64.
- AWER, K.** - 1981 - International Reference Ionosphere - IRI 79, Rep. UAG-82, 243 pp., Natl. Oceanic and Atmos. Admin., Washington, D.C.
- RISHBETH, H. & SETTY, C. S. G. K.** - 1961 - The F-layer at sunrise. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, **20**(4):263-276.
- RISHBETH, H. & GARRIOT, O. K.** - 1969 - Introduction to Ionospheric Physics. Academic Press, Internat. Geophys. Ser., 14, 331 pp.
- STROBEL, O. F. & MC ELROY, M. B.** - 1970 - The F2-layer at middle latitudes. *Planet. Space Sci.*, **18**(6):1181-1202.
- TITHERIDGE, J.E.** - 1973 - The electron content at the southern mid-latitude ionosphere 1965-1971. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, **55**: 981-1001.
- WRIGHT, J.W.** - 1960 - A model of F-region above HmF2. *J. Geophys. Res.*, **65**: 185-191.

Submetido em: 22/06/95

Revisado pelo(s) autor(es) em: 20/02/96

Accito em: 30/02/96

Livros sobre Relâmpagos

Os pesquisadores do grupo de Eletricidade Atmosférica do INPE, Osmar Pinto Júnior e Iara Cardoso de Almeida Pinto, lançaram em fevereiro o livro intitulado "Relâmpagos", da Editora Brasiliense. A obra explica como os raios se originam, quais as suas características, sua utilidade para o homem e importância para a natureza, além de trazer regras básicas de proteção e até mesmo instruções de como fotografá-los ou filmá-los. Os autores também estabelecem um confronto entre o conhecimento científico e as interpretações populares sobre os raios e discutem a sua possível utilização como fonte de energia.

NOTA SOBRE OS EDITORES E REVISORES *NOTES ABOUT EDITORS AND REVIEWERS*

Cinna Lomnitz A.

Editor Associado Regional (México) da Rev. Bras. de Geofísica

Inst. de Geofísica - Un. Natl. Autonomia Mexico - UNAM
Cdad. Universitária; 0450 - Coyoacán; Mexico, DF.

Cinna Lomnitz, professor of seismology at UNAM, is this year's recipient of the National Science Prize of Mexico. The presidential citation commended Lomnitz for distinguished research on nonlinear effects in seismology since 1957, when he proposed a unified description of creep and attenuation in rocks. Dubbed "Lomnitz' Law" by Sir Harold Jeffreys, the result accounted for many facts that were previously hard to understand, including the Moon's ellipticity and the damping of the Earth's nutation. Lomnitz disagreed with Jeffreys' contention that it forbade convection of the Earth's interior. He proposed a new model for aftershocks based on the recovery of stress perturbations in a steady-state convecting Earth, thus anticipating recent results on self-organized criticality. More recently, after the 1985 Mexico earthquake, Lomnitz pioneered nonlinear

approaches to surface wave propagation and fluid/solid transitions in soils. (Translated from EOS-AGU, Vol 76(45): 454; Nov. 95)

Walter Gonzalez

Inst. Nac. de Pesquisas Espaciais - INPE

C. Postal 515, São José dos Campos, Brasil, 12201-970

O Dr. Gonzalez é revisor da Revista Brasileira de Geofísica e pesquisador titular na Divisão de Geofísica Espacial do INPE. Recebeu dois prêmios do National Research Council/National Academy of Sciences, em 1986 e 1993, por estudos na área da física da Magnetosfera e do meio interplanetário. Tem publicado mais de 120 artigos em revistas internacionais e servido como editor associado da revista Journal of Geophysical Research - Space Physics, publicada pela AGU. Tem participado como "convener" da Conferência CHAPMAN da AGU sobre "Tempestades Geomagnéticas" realizada no "Jet Propulsion Laboratory" de Pasadena, em fevereiro de 1996 e é editor do livro "Magnetic Storms" da AGU.