

Capítulo 8

Conclusiones

Se ha mostrado que la observación nocturna de las emisiones de O_2 y del OH para medir las intensidades y temperaturas rotacionales es una herramienta poderosa para estudiar la dinámica de la atmósfera neutra entre 80 y 100km de altitud.

El énfasis de este trabajo fue el estudio de las variaciones atmosféricas de las ondas gravitatorias internas y de la marea, abarcando el rango de períodos desde 200s hasta varias horas. Para ésto, se han analizado casi 30000 pares de intensidades de banda y temperaturas rotacionales, en cada una de las bandas de $O_2(0-1)$ y de $OH(6-2)$, correspondientes a 117 noches en campañas de medición desde "El Leoncito" (LEO; $32^\circ S$, $69^\circ W$) y "El Arenosillo" (ARE; $37^\circ N$, $7^\circ W$).

Para el análisis espectral de los datos, se ha desarrollado un método iterativo que calcula las principales componentes espectrales con buena precisión en frecuencia, amplitud y fase, y que trabaja con datos no equidistantes. Las ondas fueron halladas, utilizando como criterio principal la coincidencia en frecuencia entre los picos espectrales de intensidades y temperaturas.

Se ha extendido el modelo de Hines, Tarasick y Shepherd (HTS), para incluir la fuerza de Coriolis, encontrando la expresión para el η de Krassovsky en función de los parámetros de onda. Se ha mostrado que el modelo (que permite relacionar η con la longitud de onda vertical, λ_z , y con el sentido de propagación vertical) puede ser aplicado, sin esta extensión, al caso de la marea semidiurna.

En los datos se destacan las siguientes características generales:

- Los datos de las nuevas campañas confirman algunos de los resultados publicados anteriormente [Scheer y Reisin, 1990]: como en la campaña LEO'87, en ARE'90 es claramente visible un patrón de marea durante más de diez noches consecutivas y

con variaciones de hasta 55K pico-a-pico. En las oscilaciones lentas, la fase de la temperatura de O_2 precede a la de OH por 1 a 2h.

- Las intensidades de banda, determinadas en este trabajo, tienen variaciones nocturnas que alcanzan normalmente un factor 2 entre mínima y máxima, para ambas emisiones, pero también se observó variaciones más fuertes (un factor de 4.6 para el O_2 y 5.4 para el OH).
- Los promedios por campaña de intensidades de banda y temperaturas de O_2 tuvieron un fuerte incremento en las dos últimas campañas, posiblemente relacionado con el ciclo solar.

Con respecto a la marea se han obtenido los siguientes resultados:

- La componente de marea predominante en ambas capas de emisión es la semidiurna.
- En los casos en que la marea semidiurna fue observada simultáneamente en ambas capas, las ondas aparecen atenuadas en la capa de O_2 . En vez del factor ~ 2 correspondiente a ondas no amortiguadas, el promedio de amplitudes de las temperaturas de O_2 es sólo un factor 1.26 mayor que el promedio del OH.
- Con la diferencia de fases de las oscilaciones en temperatura de ambas capas y los λ_2 calculados con el modelo HTS, se ha estimado la separación entre capas, dando resultados consistentes con la separación conocida. Esto valida al modelo HTS, en este contexto.
- En la gran mayoría de las noches con marea fuerte, la temperatura precede en fase a la intensidad, lo cual significa, según el modelo HTS, que las ondas se propagan hacia arriba. Esto confirma también los resultados de Takahashi *et al.* [1990, 1992].
- Para la capa de O_2 , los λ_2 se concentran entre 30 y 50km, con un promedio de 43km y para la capa de OH, entre 10 y 40km, con un promedio de 29km. Estos promedios son comparables con resultados de otros autores obtenidos con medi-

ciones de vientos.

- El promedio (vectorial) de $|\eta|$ para el O_2 es de 5.2, con valores individuales entre 3 y 7. La mayoría de las fases de η se encuentra entre -70° y -20° y en promedio, la oscilación en temperatura precede a la de la intensidad en 70min, aproximadamente.
- Para el OH, los valores de $|\eta|$, entre 2 y 10, tienen un promedio de 5.1. La temperatura precede en fase a la intensidad por aproximadamente 140min, en promedio, y la dispersión del desfase es un poco mayor que en el caso del O_2 . En contraste, los modelos de Walterscheid y Schubert [1987] y de Hickey [1987b] predicen valores de $|\eta|$ mucho menores y fases próximas a 0° .
- Los valores de λ_2 para la marea semidiurna obtenidos de ARE'90 son más estables que los de LEO. Si bien la comparación entre los valores de λ_2 por campaña da indicios de variaciones estacionales de la marea, la información es insuficiente para ser concluyente al respecto.

Con respecto a las ondas gravitatorias con períodos menores a la marea, se han analizado, para cada emisión, alrededor de mil ondas hasta períodos de 200s. Especialmente la información correspondiente a períodos menores de 1000s, rango espectral que no ha sido previamente analizado en datos de luminiscencia, ha sido importante para la comparación con los modelos. Los principales resultados del análisis estadístico son:

- La distribución de la cantidad de ondas observadas por intervalo de frecuencia es decreciente con la frecuencia. Aproximadamente, la mitad de los casos observados corresponden a frecuencias con períodos menores a 1000s.
- La mayoría de las ondas observadas (el 82% en la capa de O_2 y el 71% en la de OH) tienen gran longitud de onda vertical ($|\lambda_2| > 100\text{km}$) ó son evanescentes.
- La cantidad de ondas que se propagan verticalmente con $|\lambda_2| < 100\text{km}$, observadas en la capa de OH, es un 65% mayor que en la capa de O_2 . Esto puede ser debido al rompimiento de ondas entre ambas alturas de emisión.

- Estas ondas se propagan mayoritariamente hacia arriba, aunque un porcentaje importante (del orden del 30%) tiene propagación hacia abajo. En ambas capas, la amplitud media de las ondas que se propagan hacia arriba es mayor que la de las ondas con propagación hacia abajo.
- La razón entre el promedio de amplitudes de temperaturas de O_2 y el de OH es de aproximadamente 1.4, para las ondas que se propagan hacia arriba. Esto significa que la atenuación es similar a la hallada para la marea semidiurna, y corresponden a una longitud de atenuación de 22km.
- La atenuación es aproximadamente constante con respecto a la frecuencia. Este resultado contrasta con el modelo de Hickey *et al.* [1990] que, al incluir efectos disipativos, predicen que la atenuación decrece fuertemente con la frecuencia.
- Para períodos menores a 10000s, la abundancia de ondas de corta longitud vertical es menor en la capa de O_2 que en la capa de OH. En la capa de O_2 , se han observado muy pocas ondas con $|\lambda_z| < 30$ km.
- La distribución del módulo de η en función del período tiene características similares en ambas capas: entre 200 y 1000s la distribución es angosta, acumulándose el 90% de los valores de $|\eta|$ entre 1 y 3 para el O_2 y entre 0.8 y 2.8 para el OH. A partir de 1000s, las distribuciones tienden a ensancharse, y en períodos mayores a 5000s, los valores varían entre 0.2 y 12, y hay algunos casos aislados con valores aún mayores.
- Los histogramas de la fase de η son aproximadamente gaussianas centradas en ángulos levemente negativos. La gran mayoría de los casos se concentra entre -90° y 90° , siendo más angosta la distribución en O_2 que en OH. El ancho de la distribución no varía en función del período. El promedio de las fases es de 0° , para períodos menores a 2000s, tendiendo a decrecer suavemente a partir de este período.
- Los valores de η obtenidos son consistentes con valores recientes de otros autores, en períodos mayores a 1000s [Viereck y Deehr, 1989 (para la capa de OH);

Swenson *et al.*, 1990; Hecht y Walterscheid, 1991; Takahashi *et al.*, 1992; Gobbi, 1993], pero no con los resultados de Viereck y Deehr [1989], para el O_2 .

- Los valores de $|\eta|$ para el OH contrastan con el modelo de Walterscheid, Schubert, Strauss y Hickey (WSSH), en el rango de períodos menores a 1000s, donde el modelo da resultados mayores a 5. Para períodos mayores a 1000s, la comparación es poco instructiva, por la gran dispersión de los valores observados y porque los varios parámetros del modelo tienen el poder de ajustar el $|\eta|$ prácticamente a cualquiera de estos valores.
- Para altas frecuencias, los presentes valores de η se comparan mejor con el modelo HTS. Sin embargo, hay una apreciable cantidad de ondas observadas con $|\eta| < 3$ (ó 2.5 para el OH) que no son representadas por el modelo HTS, al menos con los parámetros calculados por los autores [Tarasick y Shepherd, 1992a, b].
- Las pendientes de los espectros medios de densidad de potencia de las temperaturas en función de la frecuencia, construídos a partir de las ondas individuales, son más suaves que la teórica pendiente de -2 [Dewan *et al.*, 1992; Dewan, 1994], lo que significa, ó que las condiciones del modelo no se cumplen en forma permanente, ó que otros factores estén afectando, como la atenuación de las ondas ó la extensión vertical de las capas de emisión.

Los resultados muestran las diversas posibilidades que las mediciones de las emisiones atmosféricas de O_2 y OH brindan. Algunos aspectos, como las variaciones en la actividad de onda observadas entre campañas, prácticamente no han sido discutidos. Nuevas mediciones serían necesarias para registrar bien las variaciones estacionales y latitudinales en la dinámica, y adquirirían un valor científico mayor, si se realizaran simultáneamente con otras mediciones (especialmente de vientos en las alturas de emisión). Además sería posible, sin grandes inversiones, mejorar la detección de ondas de pequeña amplitud, bajando el nivel de ruido. Por ejemplo, el error estadístico puede reducirse a la mitad, utilizando un filtro interferencial con el doble diámetro.

La medición simultánea en varios puntos del cielo permitiría extraer la importante información de la longitud de onda horizontal y la dirección horizontal de pro-

pagación lo cual, en conjunto con el λ_2 , serviría para determinar la frecuencia intrínseca, y así la componente de viento en la dirección de propagación horizontal.

También los modelos tendrían que ser mejorados. Por ejemplo, la inclusión de atenuación (como la observada en el presente trabajo) al modelo HTS podría explicar los bajos valores de $|n|$ aquí obtenidos.

Agradecimientos

A mi esposa, Graciela, por haberme dado todo su amor y su respaldo, especialmente en los momentos en que seguir con la Tesis era casi un imposible.

A mi director, Dr. Jürgen Scheer, por su constante e incondicional apoyo. Sus valiosas críticas han sido, sin lugar a dudas, un punto clave en la elaboración de este trabajo.

A la gente del CAERCEM: a su Director, Ing. Victor Padula Pintos, a la Dra. Laura Frulla, al Dr. Antonio Gagliardini, a la Dra. Haydée Karszenbaum, a Clelia Zapata y a la Lic. Margarita Cazanobe, por haberme prestado permanente colaboración.

A las Dras. Alejandra Figliola, Lilia Romanelli y Cristina Azplazu, quienes me aconsejaron y me alentaron siempre.

Al personal del CASLEO ("El Leoncito") y de "El Arenosillo", por hacerme sentir "como en casa", durante las campañas de medición.

Son muchos los que de alguna forma u otra, ayudaron a que sea posible esta Tesis, y a todos ellos, aunque no los nombre, va dirigido mi agradecimiento.

Mi trabajo fue solventado con fondos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).