

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES GENERALES DE ESTA TESIS

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se enumera de forma resumida el trabajo que se presenta en esta tesis, así como las aportaciones realizadas como consecuencia de los trabajos realizados.

6.2 OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS

El objetivo general de esta tesis es el estudio de la atmósfera joviana para aportar indicios que permitan dilucidar si el origen de la circulación global, observada al nivel del techo de nubes, es de origen profundo o superficial como predicen las dos principales teorías competidoras que se describen en el Capítulo 1.

La metodología seguida es la siguiente y sigue un camino que podríamos calificar de “aproximaciones sucesivas”. En primer lugar se estudia la estabilidad de los vientos zonales para observar su posible variabilidad, ya que los modelos de circulación profundos predicen una gran estabilidad a lo largo del tiempo, mientras que los superficiales dejan lugar a posibles variaciones debidas a causas diversas como por ejemplo la estacionalidad (Williams, 2003).

Puesto que no es posible acceder a niveles por debajo del límite de las nubes (~700 mbar), el objetivo siguiente es, a través de modelos numéricos, buscar la combinación de parámetros que caractericen la atmósfera más profunda, y que permitan reproducir lo mejor posible la meteorología observada en una determinada región del planeta. A continuación se describen con mayor detalle todos estos aspectos.

6.2.1 ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS VIENTOS ZONALES DE JÚPITER

En esta primera parte del trabajo se utilizaron imágenes de archivo tomadas por el Telescopio Espacial Hubble entre 1995 y 2000 a diversas longitudes de onda para estudiar la estabilidad de los vientos zonales. Es la primera ocasión desde la era Voyager en que se realiza un estudio detallado de los vientos zonales de Júpiter.

Utilizando técnicas de correlación se alcanza una resolución en la medición de los vientos zonales que es semejante a la obtenida con las imágenes suministradas por las sondas Voyager (Limaye, 1986) lo que permite una comparación consistente con las mediciones de los vientos zonales observados en 1979.

Por primera vez es posible determinar el perfil de vientos zonales a diferentes longitudes de onda, concretamente en la banda de absorción del metano (890 nm), infrarrojo cercano (953 nm), y azul (410 nm). También por primera, y hasta ahora única vez, se estudia la posible evolución de los vientos zonales a lo largo de 6 años (de 1995 a 2000).

Los resultados más importantes han sido los siguientes (García-Melendo y Sánchez-Lavega 2001):

- a) Se extiende el perfil de vientos conocido por encima de las latitudes exploradas por las sondas Voyager y se descubren tres nuevas corrientes en chorro a altas latitudes, dos situadas a 63°N y 68°N y otra a 62°S.
- b) No se aprecian diferencias en los perfiles zonales a las longitudes de onda estudiadas de 890 nm, 953 nm y 410 nm. La idea de este estudio es la de verificar si pueden observarse variaciones en la intensidad del perfil de vientos zonales debido a posibles variaciones en la altura de las nubes detectadas, lo que aportaría información al problema de la circulación global mencionada en el apartado anterior, pero no se ven diferencias entre los perfiles observados a diferentes bandas más allá de los errores de medición, posiblemente debido a que las diferencias de altura de las nubes medidas no sea significativa.
- c) Se observa un fuerte debilitamiento de $\sim 40 \text{ ms}^{-1}$ de la corriente en chorro situada a 24°N. Como se verá en el siguiente apartado, dicho debilitamiento podría estar asociado a importantes cambios en la morfología de dicha región. Por otro lado se intensifica el jet a 30°N ($\sim 20 \text{ ms}^{-1}$), y la corriente en chorro a 8°S ($\sim 40 \text{ ms}^{-1}$), convirtiéndose en el jet más intenso entre 1995 y 1998.
- d) En líneas generales este estudio demuestra, salvo los casos particulares mencionados en c), que entre 1995 y 2000 no hubo cambios importantes en la estructura del flujo zonal medio de Júpiter.

Estos resultados fueron completamente corroborados por los resultados obtenidos a partir de las imágenes transmitidas por la sonda Cassini en su sobrevuelo de Júpiter durante las navidades de 2000 (Porco y col. 2003).

6.2.2 ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE LA CORRIENTE EN CHORRO A 24°N

En esta segunda etapa de la tesis se selecciona como región particular de estudio la Banda Templada Norte (NTB), situada en torno a la corriente en

chorro a 24°N . Tal y como se especifica en el Capítulo 5, la NTB sufrió una erupción de naturaleza convectiva cuya evolución temporal bien definida permite acotar los modelos numéricos mejor que la mayoría del resto de las regiones del planeta (ver Capítulos 4 y 5, y Sánchez-Lavega y Quesada 1988, Sánchez-Lavega y col. 1996, y García-Melendo y col. 2000).

El estadio final del desarrollo de la perturbación es una serie de vórtices cuyas propiedades dinámicas son estudiadas en detalle en conexión con la corriente en chorro a 24°N sobre la que se encuentran situados. Los resultados más importantes son los siguientes:

- a) Se observa que los vórtices maduros de la NTB son de larga vida, con una longevidad mínima de cinco años, aunque existen evidencias de continuidad durante unos diez años. Esto los convierte en los detalles atmosféricos más longevos de Júpiter después de la Gran Mancha Roja y los óvalos blancos o WOS.
- b) El trabajo experimental demuestra que todos ellos se encuentran situados a una misma latitud fija cerca del pico de la corriente en chorro a 24°N (unas pocas décimas de grado hacia el sur).
- c) Se estudia su vorticidad y se comprueba que es similar a la ambiente, lo que sugiere que el origen de los vórtices posiblemente esté ligado a una inestabilidad de origen hidrodinámico, sin aporte de energía por otras fuentes.
- d) Se comprueba que la corriente en chorro a 24°N es más inestable alrededor de su pico de intensidad, según las condiciones necesarias para que se produzca la inestabilidad barotrópica, precisamente donde se encuentran situados los vórtices.

Todos estos resultados convierten a los vórtices de la larga vida y a su evolución a partir de una perturbación de la corriente en chorro a 24°N , en objetos adecuados para establecer un modelo numérico que nos pueda dar más detalles de cómo es la estructura de la atmósfera joviana por debajo del techo visible de nubes.

6.2.3 MODELO NUMÉRICO DE LA DINÁMICA DE LA CORRIENTE EN CHORRO A 24°N DE JÚPITER

Finalmente se establece un modelo de atmósfera (Capítulo 5), para simular de la forma más precisa posible la evolución morfológica de la erupción de la NTB hasta la aparición de los vórtices de larga vida (García-Melendo y col. 2005). Para ello se emplea EPIC (Dowling 1998), un modelo numérico que resuelve las ecuaciones del movimiento en coordenadas isentrópicas, es decir, donde los elementos de fluido se mueven de forma adiabática. Las propiedades dinámicas de los vórtices de la NTB comentadas en el apartado anterior, sugieren que el modelo EPIC puede ser una buena aproximación para construir un modelo de atmósfera que permita simular los vórtices observados. No

olvidemos que el objetivo final de este trabajo es obtener más información que nos permita discriminar entre los modelos de circulación profunda o superficial. Los dos parámetros libres más importantes son la estructura térmica de la atmósfera y el perfil vertical de vientos $u_v(p)$.

a) La principal conclusión que se deriva de las simulaciones es que el comportamiento a largo plazo de las perturbaciones de la NTB, sólo se puede reproducir para un pequeño subconjunto de perfiles zonales y verticales de entre todos los que pueden caracterizar a la corriente en chorro situada en esa región. Empezando a partir de una velocidad de 180 ms^{-1} al nivel de las nubes visibles de amoníaco, el mejor modelo indica que la velocidad máxima de la corriente en chorro debe crecer hasta 210 ms^{-1} a la presión de 1 bar, y después crecer más lentamente hasta los 240 ms^{-1} al nivel de 6 bares con $\partial u / \partial z \sim 17 \text{ ms}^{-1}$ por escala de altura. El perfil vertical así obtenido es consistente con el medido por la Sonda Galileo a 7°N (Atkinson y col. 1998), y con la hipótesis de que globalmente la velocidad del viento aumenta con la profundidad.

b) El perfil térmico que mejores resultados da indica que la atmósfera de Júpiter, a niveles más profundos de hasta 6 bares, tiende hacia una estabilidad neutra, como correspondería a una atmósfera bien mezclada donde el principal medio de transporte vertical de energía es la actividad convectiva.

c) Las simulaciones son también consistentes con los análisis de estabilidad barotrópica descritos en la sección anterior. Según criterios necesarios de inestabilidad baroclínica, las simulaciones apuntan nuevamente a que las regiones más inestables de la corriente en chorro se sitúan nuevamente alrededor su pico de velocidad. Este resultado es interesante porque los vórtices anticiclónicos observados en Júpiter, incluida la Gran Mancha Roja, se sitúan precisamente cerca de los picos de las corrientes en chorro dirigidas hacia el oeste, al contrario del caso único de los vórtices de la NTB.

d) En el estudio de la evolución temporal del perfil zonal de vientos descubrimos que de 1979 a 1991 la corriente en chorro a 24°N sufrió un debilitamiento de unos 40 ms^{-1} , nuestros modelos indican que la corriente en chorro al perder intensidad se vuelve más estable, y que sólo puede inestabilizarse cuando se intensifica y alcanza velocidades de pico del orden de 180 ms^{-1} .

6.3 SUGERENCIAS PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

Los resultados de este trabajo sugieren que la intensidad de los vientos en Júpiter crece con la profundidad, lo que unido a los resultados de la sonda Galileo (Atkinso y col., 1998) favorece los modelos de circulación profunda, sin embargo estos dos resultados podrían ser efectos locales.

Los resultados de esta tesis sugieren la conveniencia de realizar un trabajo exhaustivo de simulación en la que se intenten reproducir las características dinámicas de los vórtices que se observan a muy diversas latitudes del planeta. Lo que sin duda podría arrojar más luz a este problema fundamental de las ciencias planetarias.

