

## Comunicación B-9

# IMÁGENES DE VAPOR DE AGUA: USO EN EL DIAGNÓSTICO DE NIVELES ALTOS

**F. Elizaga**  
**F. Martín**  
**R. Riosalido**  
**O. Carretero**  
**B. Elvira**  
(STAP, INM)

**A. García**  
(Afiliación actual ECMWF)

### RESUMEN

*Las imágenes de vapor de agua (WV) contienen gran cantidad de información, a diferentes escalas, sobre los procesos cinemáticos y termodinámicos que tienen lugar en niveles medios y altos de la atmósfera. Así, haciendo uso de modelos conceptuales apropiados, la interpretación de estas imágenes se convierte en una herramienta fundamental a la hora de diagnosticar el estado de la atmósfera en entornos operativos. Las ideas que los predictores extraen de una correcta diagnosis son el elemento básico y fundamental para validar el comportamiento y nivel de confianza que puede otorgarse a los modelos numéricos. En este trabajo se presentan las principales ideas y métodos que son la base del uso operativo de la interpretación de imágenes WV en el INM.*

### 1. Introducción

Uno de los puntos en los que se basa cualquier predicción meteorológica es la diagnosis. Conocer qué está ocurriendo en la atmósfera en un momento dado (etapa de análisis) y diagnosticar correctamente esos fenómenos, es decir, comprender el por qué, cómo están actuando los factores y procesos físicos que controlan el desarrollo y evolución de las estructuras meteorológicas a diferentes escalas (y la posible interacción entre ellos) son las claves para abordar las tareas de predicción con garantía de éxito. Esto es, si cabe, más importante a la hora de enfrentarse a las predicciones a muy corto plazo y al *nowcasting*: en estos casos, conocer las estructuras presentes y por qué están dando lugar al tiempo efectivamente observado, junto con modelos conceptuales apropiados de evolución de esas estructuras, sitúan al predictor en el contexto más adecuado para poder realizar la predicción. Por supuesto, en un entorno operativo, las etapas de análisis y diagnosis y, en gran medida, la etapa de prognosis, se solapan y alimentan unas a otras de forma continua.

El proceso de predicción que, de forma simplificada, se puede dividir en las fases de análisis, diagnóstico y pronóstico, más la etapa de adquisición de datos, puede afrontarse de varias formas diferentes en función de su grado de automatización. Tomando como referencia la Fig. 1, se puede hablar en forma esquemática de tres posibles vías: la vía del proceso automático basado principalmente en técnicas de reconocimiento de formas, la del proceso automático basado en modelos numéricos, y una vía intermedia, el proceso con intervención humana, en la que el predictor participa en todas las fases, añadiendo valor a los productos que van generándose por las otras vías.

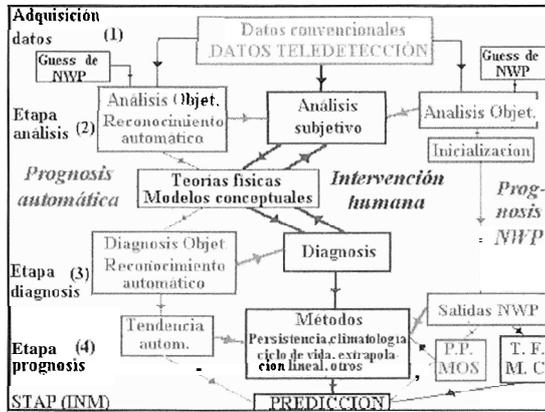


Fig. 1. Esquema simplificado del proceso de predicción meteorológica

En la rama izquierda de la Fig. 1 aparece el proceso basado en técnicas de reconocimiento automático. La intervención directa del hombre no es necesaria; de forma indirecta sí, ya que en esta técnica los procesos físicos y sobre todo los modelos conceptuales son necesarios para conocer el estado de evolución de las estructuras reconocidas. En la etapa de pronóstico se utilizan técnicas de extrapolación automáticas, que pueden ser lineales o no, proporcionando productos de uso directo a los usuarios finales.

El proceso basado en modelos numéricos arranca de los datos observados y proporciona análisis objetivos y campos previstos de forma automática. Estos campos pueden ser usados posteriormente por otras técnicas, también automáticas, para suministrar productos finales (como el MOS), o el predictor puede intervenir para ((interpretar)) las salidas directas del modelo aplicando tanto técnicas de predicción como modelos conceptuales de evolución.

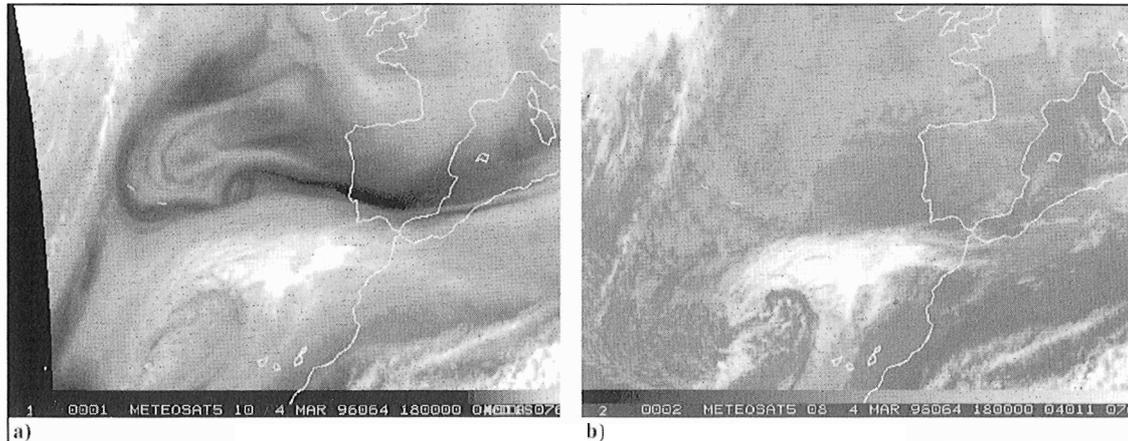
La rama central representa la vía más compleja y más completa, en la que el predictor, haciendo uso de productos suministrados desde las otras dos vías en las distintas etapas del proceso, y usando todas las conclusiones que puede extraer de la interpretación subjetiva de los datos que están a su disposición, llega a una diagnosis tridimensional de los fenómenos relevantes, aplicando posteriormente alguno de los métodos disponibles para elaborar los productos y predicciones finales. A continuación se mostrará cómo el uso de imágenes WV facilita las labores de diagnóstico en el proceso con intervención humana. Se revisarán cuáles son las principales aportaciones de las imágenes en ese proceso, se mostrarán algunos modelos básicos de interpretación y se aplicarán las ideas anteriores a casos concretos.

2. Uso y aplicación de las imágenes WV

Desde un punto de vista general, las imágenes de satélite (en sus diversos canales) nos permiten mejorar nuestra comprensión de los procesos atmosféricos en tiempo real, tanto de aquellos que tienen lugar a escala hemisférica o sinóptica como de los mesoescalares. Por un lado, sirven para identificar el estado de desarrollo de los sistemas, mostrando la interacción entre diferentes escalas a través de los distintos procesos térmicos, dinámicos y cinemáticos que pueden estar teniendo lugar. Por otro, sirven para desarrollar y/o mejorar o completar los modelos conceptuales de evolución y ciclo de vida de diferentes sistemas atmosféricos. Además, su cobertura global hace de ellas una herramienta indispensable en aquellas zonas donde la red de observación convencional presenta grandes lagunas, como son los alrededores de la Península Ibérica. El uso de este tipo de datos, desde otro punto de vista, realza el papel del predictor en el proceso de predicción, permitiéndole añadir valor a los productos finales generados a través de la interacción con otras técnicas durante el proceso de predicción.

De forma específica, en las imágenes WV es muy importante tener presente que no sólo las nubes actúan como trazadores, sino también, y muy especialmente, las zonas secas y húmedas en niveles medios y altos (a diferencia de las imágenes VIS e IR, en las que las nubes son los únicos trazadores). Contienen mayor

cantidad de información que las imágenes IR respecto de las estructuras presentes en niveles medios-altos, ya que los contrastes entre zonas húmedas y secas pueden asociarse directamente con algunas estructuras importantes (como zonas de deformación, corrientes en chorro, etc). Esto puede verse en la Fig. 2, donde en la imagen de WV son claramente visibles diferentes máximos de vorticidad por cizalladura en el flanco norte de la DANA situada al oeste de Canarias, mientras que en la imagen IR la señal que ofrecen es muy pequeña, pudiendo pasar prácticamente desapercibidos.



**Fig. 2.** Imágenes del 4 de marzo de 1996 a 18Z a) WV, b) IR

Las imágenes WV, al mostrar de forma más clara la conexión entre los diferentes sistemas atmosféricos (debido al mayor número de trazadores), permiten una mayor continuidad a la hora de estudiar la evolución de esos sistemas. Entre las configuraciones más importantes que deben ser controladas cuando se trata de interpretar estas imágenes podemos apuntar las siguientes:

- vaguadas largas y cortas, así como dorsales;
- localización de máximos de vorticidad, bien sean debidos a curvatura o a cizalladura;
- posición de las corrientes en chorro y de los máximos de viento;
- zonas y bandas de deformación;
- intrusiones secas;
- hundimientos de tropopausa y anomalías térmicas asociadas.

Como se pondrá de manifiesto, una de las características más relevantes de las imágenes WV es la presencia de bandas oscuras, que en la mayor parte de las ocasiones muestran una forma elongada de hasta varias decenas de miles de kilómetros de largo. Generalmente están relacionadas con diversas características del campo de viento en niveles altos, como son las bandas de deformación y los máximos de viento.

Por supuesto, existen también una serie de limitaciones que deben ser tenidas en cuenta cuando se usan estas imágenes. Destacan entre ellas el hecho de no proporcionar información acerca de las nubes bajas (y de los procesos de la capa límite planetaria con los que están relacionadas) y las dificultades que pueden aparecer al tratar de asignar un nivel determinado a las estructuras que aparecen. Esta última tiene gran importancia práctica, ya que las distintas estructuras que pueden observarse en la imagen pertenecen generalmente a niveles diferentes, lo que puede conducir a error al tratar de comparar lo que se ve con mapas sobre superficies isobáricas.

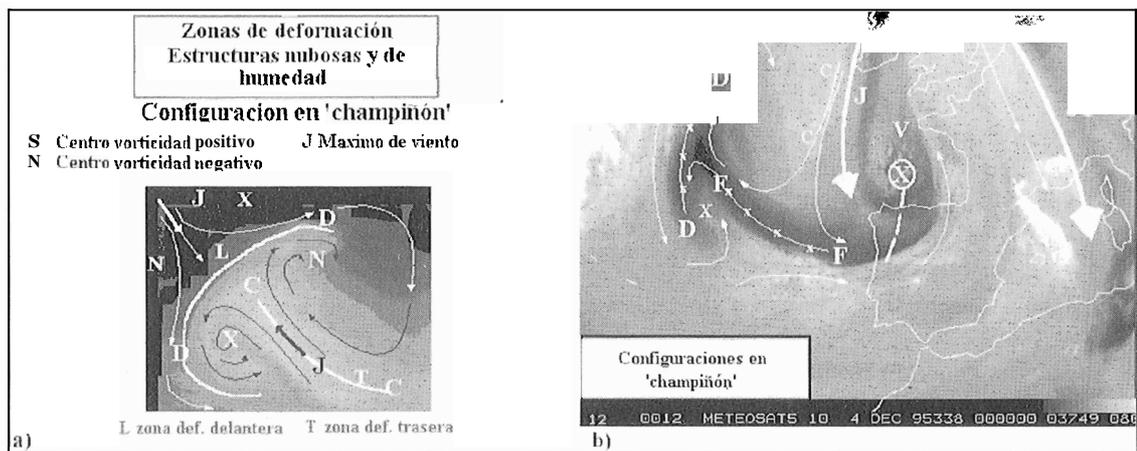
### 3. Interpretación de las imágenes WV

A la hora de interpretar las imágenes WV es importante distinguir entre el flujo absoluto y el flujo relativo. Cuando se observa una imagen y, particularmente, si vemos un loop de imágenes y nos fijamos en una

característica concreta, el movimiento del aire que podemos inferir de la forina que presenta es el que corresponde al flujo relativo. Son los flujos relativos los que dan forma a las estructuras nubosas o de humedad que observamos en una imagen. Esto, a veces (cuando los sistemas se están trasladando de forma rápida), puede conducir a confusión y a una interpretación errónea de la imagen, sobre todo si tratamos de correlacionar lo que se observa en la misma con un mapa meteorológico (por ejemplo, la imagen WV y el viento en 300 hPa), ya que lo que aparece representado en el mapa es el flujo absoluto, que puede ser muy distinto del flujo relativo. En los modelos conceptuales que a continuación se presentan para interpretar imágenes WV se hará uso ampliamente de esta idea.

### 3.1. Zonas de deformación

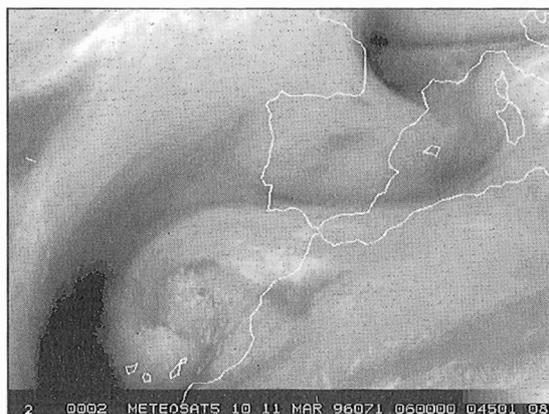
Las zonas de deformación son, como es sabido, regiones hiperbólicas en el campo de viento a las que van asociados un eje de contracción y un eje de dilatación. Están relacionadas con fuertes contrastes de nubosidad o humedad, y a que no existe mezcla de aire a lo largo del eje de dilatación. Muchas de las bandas oscuras que aparecen en las imágenes WV tienen este origen, indicativas de zonas en las que se están acercando entre sí dos masas de aire de distinto origen. Estas zonas de deformación, y sus bandas oscuras asociadas, son fácilmente detectables en las imágenes WV, donde presentan una gran continuidad. En la Fig. 3a se muestra el modelo conceptual asociado a las configuraciones en champiñón (el nombre proviene de la forma que toman las zonas de deformación en WV), marcando los flujos relativos más importantes y los máximos de vorticidad asociados. En la Fig. 3b aparece el análisis subjetivo del flujo en niveles medios y altos para el 4 de diciembre de 1995 a 00 Z, sobre la imagen WV correspondiente. Pueden verse en esta última dos configuraciones en forma de «champiñón» asociadas a zonas de deformación (una sinóptica, con el eje de contracción en dirección N-S, y otra mesoescalar en el extremo oeste de la banda de dilatación asociada a la anterior), que permiten definir de forma exacta los flujos relativos existentes y los máximos de vorticidad asociados (los ejes de dilatación aparecen señalados con líneas continuas cruzadas por aspadas).



**Fig. 3.** a) *Modelo conceptual de configuraciones en champiñón*  
 b) *análisis subjetivo del flujo el 4 de diciembre de 1995 a 00 Z*

Estas estructuras en forina de champiñón aparecen comúnmente en las imágenes WV a diferentes escalas y son de mucha ayuda en la diagnosis de diversas situaciones entre las que destacan: identificación de las primeras fases del desarrollo de DANAS en nuestras latitudes, circulaciones meridianas con flujo del norte (generalmente se produce por detrás de la zona de dilatación el descuelgue de vaguadas o máximos de vorticidad hacia el sur) y circulaciones del este sobre la Península con vorticidad anticiclónica al norte y ciclónica al sur.

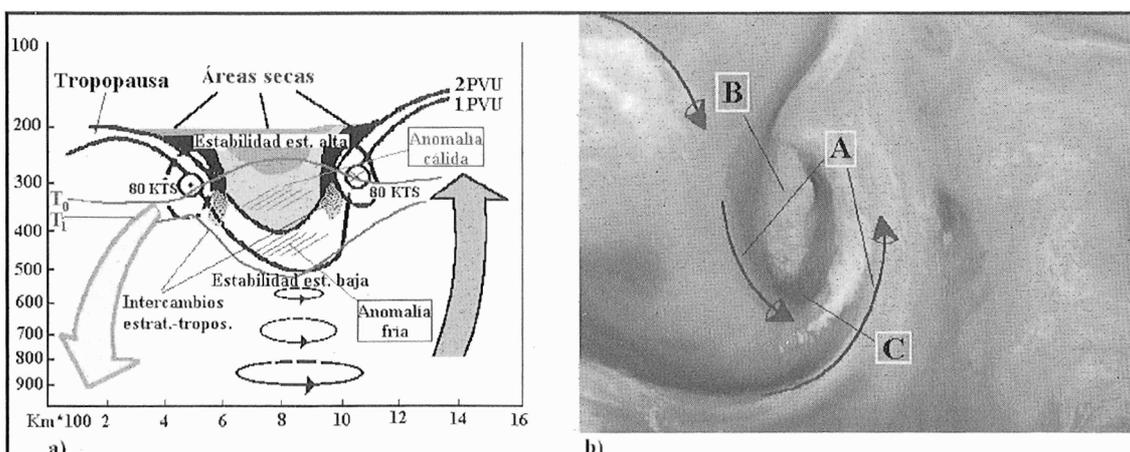
Las bandas de deformación suelen aparecer muchas veces uniendo dos máximos de vorticidad. En estos casos la banda de deformación torna una forma de S invertida siendo también fácilmente reconocible en las imágenes. En la Fig. 4 aparece un ejemplo de este tipo, uniendo una DANA situada ligeramente al este de las Canarias con una vaguada de onda corta sobre el Mediterráneo. La presencia de estas bandas ayudan a diagnosticar el flujo que existe entre las dos perturbaciones.



**Fig. 4.** Ejemplo ~1 banda de deformación. La situación corresponde al día 11 de marzo de 1996 a 06 Z

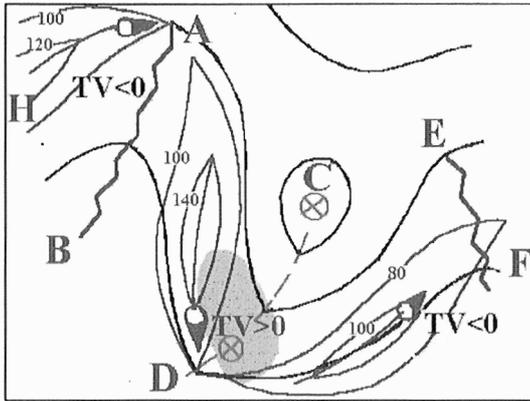
### 3.2. Máximos de viento y hundimientos de tropopausa

Otro tipo de estructuras que están asociadas con las bandas oscuras que se aprecian en las imágenes de vapor de agua son las corrientes en chorro y los máximos de viento. Los chorros se encuentran canalizados en los hundimientos de tropopausa, apareciendo las bandas oscuras en el lado de cizalladura ciclónica, zona donde el aire se encuentra dentro de la estratosfera y, por lo tanto, más seco. En la Fig. 5a se muestra el modelo conceptual de un hundimiento de tropopausa asociado con una DANA en su estado inmaduro y en la Fig. 5b un caso real en el momento de desarrollo de una DANA. Se ve cómo entre los chorros que bordean el hundimiento de tropopausa existe un área de alta estabilidad estática, asociada con una anomalía térmica cálida. Por debajo del hundimiento de tropopausa, en niveles medios, existe una anomalía térmica fría, con baja estabilidad estática en niveles medios-bajos de la atmósfera. Tal como aparecen en las imágenes de vapor de agua, los hundimientos de tropopausa presentan una tonalidad gris oscura (frecuentemente moteada de puntos blancos debido a los desarrollos convectivos asociados al embolsamiento frío) con las bandas oscuras asociadas a los chorros bordeando el área de tonos gris oscuros.



**Fig. 5.** a) Esquema de un hundimiento de tropopausa para el caso de una DANA en fase de madurez; b) imagen WV de un caso real de una DANA en desarrollo

En general, cuanto más intensidad tiene la corriente en chorro, más oscuras aparecen las bandas asociadas (indicación de un doblez acusado de tropopausa con fuerte contraste de masas de aire). De todas formas, existen ocasiones en que las bandas oscuras asociadas con las corrientes en chorro no aparecen de forma nítida, debido principalmente a la existencia de capas húmedas a otros niveles que pueden enmascarar esa banda oscura.



**Fig. 6.** Esquema de un chorro advectivo con transferencia de vorticidad de cizalladura a curvatura

En relación con los chorros, las imágenes WV también permiten inferir si se trata de un chorro advectivo o canalizado. Un chorro canalizado se caracteriza porque la advección de vorticidad es débil a lo largo de su eje, o en otras palabras, no presenta una tendencia a cruzar las isohipsas, discurriendo casi paralelo a ellas. Por el contrario, un chorro advectivo provoca fuertes advecciones de vorticidad a lo largo de su eje, ya que existe un marcado cruce con las isohipsas (cuando estos chorros están asociados con el desarrollo de nuevas vaguadas, el cruce se produce desde valores de geopotencial altos a bajos). El esquema de la Fig. 6 muestra el modelo conceptual de una configuración muy común en la que una vaguada se desarrolla en asociación con un chorro advectivo debido al proceso conocido como transferencia de vorticidad de cizalladura a curvatura.

El chorro en la posición H es un chorro situado corriente arriba de la dorsal A-B. El máximo de vorticidad principal se encuentra en C. El chorro corriente abajo de la dorsal, entre A y D, es un chorro advectivo con fuerte desaceleración en la zona de salida; en las imágenes, la banda oscura asociada a este chorro muestra un ensanchamiento en la zona de desaceleración a la izquierda del mismo, posición en la que se sitúa un nuevo máximo de vorticidad secundario. En esa zona, la transferencia de vorticidad a curvatura es muy importante y da lugar a la aparición de una nueva vaguada (en ocasiones, esto conduce a la formación de una DANA, rehaciéndose la circulación polar por el norte, que tiende a conducir el máximo de vorticidad C hacia el este). El máximo de viento corriente arriba de la dorsal E-F tiene en ocasiones también carácter advectivo, lo que provoca el crecimiento de esa dorsal en la zona donde existe transferencia de vorticidad negativa. En las Figs. 7a y 7b se muestra un ejemplo del ensanchamiento de la banda oscura asociado con un chorro advectivo tal como suele aparecer en las imágenes WV. En este caso, la transferencia de vorticidad que está teniendo lugar a las 00 Z al sur de Azores provoca el desarrollo de una vaguada que interacciona con la circulación subtropical, comenzándose a aislar una DANA al noroeste de Canarias.



**Fig. 7.** Situación del 6 de noviembre de 1995 en la que un chorro advectivo produce el desarrollo de una DANA al oeste de la Península. a) imagen WV de 6/11/95 a 00 Z; b) imagen WV del 6/11/95 a 14 Z

#### 4. Casos prácticos

En este apartado se mostrará, a modo de ejemplo, la aplicación de las ideas y modelos conceptuales de interpretación que se acaban de exponer a dos casos reales. La interpretación de imágenes WV forma parte de una metodología más amplia cuya finalidad es servir de base a los predictores operativos en la elaboración de diagnósticos tridimensionales. Una vez obtenida, esta diagnosis se usa como punto básico para la validación del comportamiento de los diferentes modelos numéricos en uso. En los ejemplos que se muestran se diagnosticarán las estructuras y los flujos que pueden extraerse de una adecuada interpretación de las imágenes WV (tema principal de este trabajo), aunque debe quedar claro que el fin de la metodología, combinando las ideas así obtenidas con otras fuentes de datos (principalmente inodelos numéricos), es diagnosticar de forma completa el estado de la atmósfera a todos los niveles.

El primer ejemplo coi-responde al día 9 de junio de 1995 a 00 Z. En la Fig. 8 se muestra la diagnosis de niveles medios-altos, superpuesta sobre la imagen WV correspondiente para facilitar una mejor comprensión de las diferentes estructuras. Sobre el Atlántico, al oeste de Azores, existen dos chorros M1 y M2. A la izquierda de M1 (según la dirección del flujo) se observan dos máximos de vorticidad por cizalladura C2 y C3, apareciendo en la zona de desaceleración de ese chorro un máximo de vorticidad por curvatura C1, cuyo origen está en la transferencia de vorticidad que está teniendo lugar en esa zona. Uniendo los máximos de vorticidad C1 y C4 aparece una banda de deformación F1, sobre la que se han indicado los flujos relativos. Una pequeña dorsal D1 se sitúa corriente abajo del máximo de vorticidad C1. Otras estructuras interesantes se observan al sur de la Península: el máximo de vorticidad C4, sobre el golfo de Cádiz, y la vaguada móvil V1 que se está desplazando hacia el este por la costa norteafricana. Estas dos estructuras están asociadas al chorro M3, que tiende a desplazarlas hacia el este. Sobre el Reino Unido hay una vaguada V2 desplazándose hacia el este-sureste. Sobre la Península y en el Atlántico aparecen distintas bandas de deformación, que como ya se ha comentado en párrafos anteriores, permiten diagnosticar el flujo existente en esas zonas. La combinación de todas esas estructuras y de los flujos que pueden inferirse de la imagen dan lugar a una visión completa de los fenómenos que están teniendo lugar en niveles medios-altos.

El segundo ejemplo hace referencia a una situación dinámicamente poco marcada sobre la Península, donde la existencia de algunas estructuras en la imagen WV permite profundizar en el conocimiento de la situación. En la Fig. 9 puede verse la diagnosis para este caso, correspondiente al 18 de junio de 1993 a 00 Z. La presencia de un configuración en forma de champiñón, con el eje de contracción sobre la Península y el de dilatación sobre el Atlántico es fundamental. Al sur de la Península, en la rama de circulación ciclónica de la zona de deformación, se observan dos máximos de vorticidad, con una vaguada sobre el norte de África que está siendo conducida hacia el noreste por un máximo de viento. Sobre el norte de la Península y Francia predomina la circulación anticiclónica. Más al oeste, sobre el Atlántico, existe un chorro del suroeste con varios máximos de viento embebidos y, por detrás, diversas vaguadas y máximos de vorticidad, con una banda de deformación uniendo la vaguada que está atravesando las Islas Británicas y un máximo de vorticidad sobre el Atlántico.

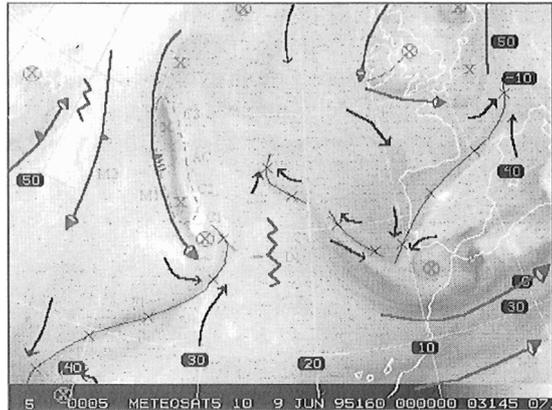


Fig. 8. Diagnóstico de niveles medios-altos del 9 de junio de 1995 a 00 Z, superpuesto sobre la imagen WV correspondiente

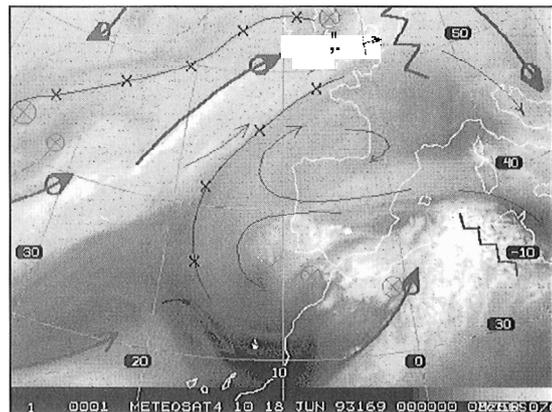


Fig. 9. Diagnóstico de niveles medios-altos del 18 de junio de 1993 a 00 Z, sobre la imagen WV correspondiente

## 5. Conclusiones

La enorme cantidad de información que poseen las imágenes WV, y que no es tenida en cuenta prácticamente por las actuales técnicas de análisis y diagnosis automáticas, es de gran ayuda cuando el predictor analiza e interpreta subjetivamente esas imágenes. Aparte de los productos objetivos que pueden extraerse de forma automática, como los vientos de desplazamientos nubosos, las imágenes WV engloban y muestran los fenómenos cinemáticos y termodinámicos que tienen lugar en niveles medios-altos. El uso de modelos conceptuales apropiados es básico a la hora de extraer de ellas la posición de los máximos de viento y de las zonas de deformación, de las vaguadas y dorsales (así como de los máximos de vorticidad por cizalladura y curvatura), de los hundimientos de tropopausa (con sus implicaciones termodinámicas por lo que respecta al desarrollo ciclogénico), etc. Haciendo uso de las diagnosis tridiimensionales que pueden alcanzarse combinando toda esa información con técnicas de diagnóstico basadas en modelos numéricos, el predictor no solamente podrá disponer de una diagnosis más completa (lo cual por sí mismo ya sería de gran ayuda para elaborar predicciones), sino que también dispondrá de elementos de juicio para validar el comportamiento de los modelos numéricos y de su evolución. Esta tarea de controlar y comprobar el comportamiento de forma continua de los modelos numéricos en uso es actualmente uno de los puntos más importantes en las tareas operativas de los centros de predicción, principalmente cuando existen diferencias en la evolución de los distintos modelos.

## Referencias

Bader, M. J. et al, 1995: *Images in Weather Forecasting*. Cambridge University Press.

Forbes, G., 1982: *Satellite Imagery and other Meteorological Information*. Personal Memorandum

García, A., 1995: *Diagnosis de niveles medios-altos. Módulo TAD4. Módulos de enseñanza meteorológica mediante ordenador (TEMPO)*. STAP-INM.

García, A.; F. Elizaga; F. Martín; R. Riosalido; O. Carretero and B. Elvira, 1995: *Use of WV imagery in upper levels diagnosis*. ECAM-95. Toulouse (France), pp. 128-131.

Hirschberg, P. y J. Fritsch, 1991: *Tropopause Undulations and the Development of Extratropical Cyclones. Part II: Diagnostic Analysis and Conceptual Model*. *Mon. Wea. Rev.*, 119, pp. 518-550.

Hoskins, B. J.; M. E. McIntyre and W. Robertson, 1985: *On the use and significance of isentropic potential vorticity maps*. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 111, pp. 877-946.

Keyser, D. and M. A. Shapiro, 1986: *A review of the structure of dynamics of upper level frontal zones*. *Mon. Wea. Rev.*, 114, pp. 452-499.

Smigielski, F. J. and G. P. Ellrod, 1985: *Surface Cyclogenesis as indicated by Satellite Imagery*. NOAA Technical Memorandum NESDIS 9.

Weldom, R. B. *Satellite training course notes. Part IV. Cloud patterns and upper air wind field* USAF, AWS/TR-79/003.