

SERVICIO DE PREDICCIÓN NUMÉRICA	NOTA TÉCNICA Nº 50	Orig. 19/10/95 Rev. 1/03/96
---------------------------------------	---------------------------	--------------------------------

**ESTUDIO DE DIFERENTES ESQUEMAS
DE LA DIFUSION HORIZONTAL
EN EL MODELO HIRLAM(INM)**

30 AGO 2002



Isabel Martínez Marco

INDICE

	<u>pags.</u>
1. Introducción	1
2. Propiedades de los esquemas de difusión horizontal	2
3. Estudio del esquema de difusión horizontal explícito	5
4. Primeras pruebas realizadas con el esquema de difusión horizontal implícito	6
5. Estudio del esquema de difusión horizontal implícito en el modelo HIRLAMINM_0.5°	8
6. Determinación del coeficiente de difusión en el esquema implícito en el modelo HIRLAMINM_0.5°	12
7. Estudio del esquema de difusión horizontal implícito en el modelo HIRLAMINM_0.2°	14
8. Determinación del coeficiente de difusión en el esquema implícito en el modelo HIRLAMINM_0.2°	18
9. Verificación objetiva de los esquemas de difusión horizontal	20
10. Conclusiones	21
11. Bibliografía	23
12. Anexo	24

AEMET-BIBLIOTECA



1006214

INTRODUCCION

Actualmente, los modelos de predicción numérica poseen un brazo de rejilla (distancia entre dos puntos de rejilla contiguos) que hace que sean incapaces de describir la mezcla horizontal de masas de aire en escalas espaciales mas pequeñas que dicho brazo. Si no existe una parametrización de la difusión horizontal que tenga en cuenta las escalas no resueltas, la enstrofia potencial se acumula en las escalas más pequeñas en el modelo. Tal acumulación, conocida como "bloqueo espectral", da lugar a una desviación del espectro de energía observado y es visible tanto como un excesivo ruido de pequeña escala como una variación de la vorticidad potencial. Por lo tanto, es necesario incluir esquemas de difusión horizontal que imiten las mezclas de escala subrejilla quitando enstrofia potencial en las escalas pequeñas. Si no incluye una condición de cierre única, existen una infinidad de posibles esquemas para parametrizar las mezclas horizontales no resueltas. Es de esperar que, según la resolución del modelo se incrementa, sea posible ajustar el esquema de difusión para dar resultados de gran escala de acuerdo con las observaciones. Debido a que las interacciones entre todas las escalas espaciales son no lineales, no está claro que todos los esquemas convergen a tal límite.

Los esquemas más comunmente utilizados son los hiper-Laplacianos donde la tendencia de cualquier variable del modelo está dada por:

$$\frac{\partial \chi}{\partial t} = -(-1)^q K \nabla^{2q} \chi$$

donde χ es la variable en cualquier superficie de presión o sigma. El caso de $q = 1$ fue utilizado por Bourke (1974) y se conoce como proceso de difusión Fickian. Si la difusión Fickian describe adecuadamente o no los procesos de mezcla no lineales en la atmósfera es una cuestión debatible. Lo que si se observa es que para amortiguar las pequeñas escalas se necesitan valores de K tan grandes que también amortiguan las grandes escalas y por tanto el esquema no es suficientemente selectivo. Debido a la eficiencia en el cálculo de los operadores hiper-Laplacianos en los modelos espectrales, los esquemas de hiper-difusión con $q > 1$ han sido muy utilizados.

El efecto de los esquemas de difusión horizontal en el comportamiento de las ondas baroclinas de latitudes medias, especialmente en la fase de decaimiento de su ciclo de vida, puede ser crucial en reproducir con exactitud la circulación general.

Las ecuaciones de un modelo de predicción numérica contienen un término de difusión horizontal. El ruido de alta frecuencia de pequeña escala se puede desarrollar durante la predicción como un resultado de la cascada de energía a escalas pequeñas. La difusión horizontal se necesita para filtrar el ruido y conservar

la señal meteorológica. En muchos casos la difusión horizontal se expresa más en terminos de un filtro matemático que en terminos de una disipación física.

PROPIEDADES DE LOS ESQUEMAS DE DIFUSION HORIZONTAL

En un modelo atmosférico, la ecuación de pronóstico de cualquier variable X se puede escribir como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_x + P_x + K_x$$

donde X es u, v, q o T (u y v son las componentes horizontales del viento, T es la temperatura y q es la humedad específica) y t es el tiempo. D_x representa las tendencias dinámicas, P_x las tendencias de las parametrizaciones físicas y K_x expresa la tendencia debida a la difusión horizontal. En muchos casos, la difusión horizontal se considera más como una herramienta de filtro del ruido de alta frecuencia de pequeña escala producido por la cascada de energía a las escalas más pequeñas que como un término con relevancia física.

En el sistema HIRLAM se emplea un esquema lineal de cuarto orden. Este método se supone que afecta a las escalas más pequeñas. Para cualquier variable X este esquema se define como:

$$K_x = -K(\eta) \nabla^4 X^{n-1}$$

donde n se refiere al paso de tiempo y $K(\eta)$ es el coeficiente de difusión, que puede depender de la variable vertical η . En la versión operativa con un esquema de difusión horizontal explícito, el coeficiente de difusión K se considera constante en la vertical y con el mismo valor para u, v, T y q.

Si consideramos la versión operativa el esquema de cuarto orden aplicado se puede expresar como:

$$K(\eta) \nabla^4 X = \left(\frac{K(\eta)}{(ah_x \Delta x)^4} \delta_x^4 X \right)_{ij} + \left(\frac{K(\eta)}{(ah_y \Delta y)^4} \delta_y^4 X \right)_{ij} + \left(\frac{2K(\eta)}{(ah_x \Delta x)^2 (ah_y \Delta y)^2} \delta_{xy}^4 X \right)_{ij}$$

donde a es el radio de la Tierra, h_x y h_y son los coeficientes métricos e Δx y Δy son los brazos de la rejilla en las direcciones x e y respectivamente.

El comportamiento de cualquier operador se puede estudiar por su función de respuesta R que se define como:

$$R = X'/X$$

donde X' se refiere a los valores filtrados. Para que el operador R sea estable debe cumplir que $|R| \leq 1$ y para asegurar que no hay cambios de fase es necesario que $R \geq 0$.

Por lo tanto las condiciones de estabilidad y sin cambios de fase se consiguen exigiendo que $0 \leq R \leq 1$. Para ondas simétricas y para el caso de que los coeficientes métricos y los brazos de rejilla sean iguales, la condición de estabilidad es

$$0 \leq \frac{128\Delta t K(\eta)}{(ah_x\Delta x)^4} \leq 1$$

lo que supone que los valores de $K(\eta)$ posibles son:

$$0 \leq K(\eta) \leq \frac{(ah_x\Delta x)^4}{128\Delta t}$$

Teniendo en cuenta la relación entre K y $K(\eta)$:

$$K = \frac{K(\eta)}{(a^3\Delta x^3)} \text{ suponiendo } \Delta x = \Delta y$$

los valores posibles de K son:

$$0 \leq K \leq \frac{ah_x^4\Delta x}{128\Delta t}$$

Por ejemplo, si $h_x = 1$, $\Delta x = \Delta y = 0.5^\circ$ y $\Delta t = 300$ s la condición de estabilidad se cumple si

$$0 \leq K \leq 1.45$$

En la práctica esto significa que el valor del coeficiente de difusión horizontal no

puede aumentar o disminuir más allá de estos límites, de otra manera el esquema es inestable.

De las ecuaciones anteriores se deduce que si el paso de tiempo o el brazo de rejilla varían, el valor del coeficiente K también deberá variar para que la cantidad de difusión sea la misma. Así si tenemos dos versiones del modelo, la versión 1 con K_1 , Δt_1 y Δx_1 y la versión 2 con K_2 , Δt_2 y Δx_2 , la relación entre K_1 y K_2 será:

$$K_1 = \frac{\Delta x_1 \Delta t_2}{\Delta x_2 \Delta t_1} K_2$$

Por lo tanto, si el esquema utilizado se resuelve de forma explícita, su estabilidad está condicionada a los valores del coeficiente de difusión K .

Otra posibilidad es resolver dicho esquema de forma implícita que es absolutamente estable, es decir, su estabilidad no depende de los valores del coeficiente de difusión K . Sin embargo, es necesario ajustar tal valor para que el espectro de energía resuelto por el modelo esté de acuerdo con el observado; pues si no fuera así se produciría una desviación del modelo de la circulación general.

Por otra parte, al ser absolutamente estable nos permite más difusión y por tanto eliminar el exceso de ruido que se acumula en las escalas pequeñas y que es perceptible en el modelo operativo explícito, especialmente en el campo de temperaturas. Por esta razón hemos realizado un estudio del mismo esquema de difusión horizontal pero resuelto numéricamente de forma implícita.

ESTUDIO DEL ESQUEMA DE DIFUSION HORIZONTAL EXPLICITO

Primeramente, se realizó un estudio del esquema de difusión horizontal explícita variando el coeficiente K entre los límites permitidos. Se realizaron varias pruebas en las cuales la única variación era dicho coeficiente: unas, con el coeficiente de difusión constante para todos los niveles y el mismo para todas las variables y otras, en las cuales el coeficiente era el mismo para todas las variables pero aumentaba con la altura, es decir, mayor difusión en los niveles superiores.

En las siguientes figuras se comparan tres pruebas:

- a) Experimento GAN: coeficiente de difusión constante $K = 0.3 * 10^{14}$,
- b) Experimento BBB: coeficiente de difusión constante $K = 1.2 * 10^{14}$ y
- c) Experimento L45: coeficiente de difusión variable con la altura

$$K = \{ \begin{array}{l} 1.0 \text{ en los 10 niveles inferiores} \\ 1.3 \text{ en los 10 niveles intermedios} \\ 1.6 \text{ en los 11 niveles superiores} \end{array} \}$$

corresponden a la predicción H+24 del día 2 de noviembre de 1987 a las 12Z (famoso caso de Gandía).

En las primeras cuatro figuras se comparan los experimentos GAN y BBB. Como se observa claramente al aumentar el coeficiente de difusión disminuye el ruido de pequeña escala. La situación es muy parecida si el alcance es mayor, aunque en una predicción más larga el ruido aumenta. El campo de precipitación es más suave y desaparece, gran parte, de la precipitación espúrea debajo de los anticiclones que se observa en muchas situaciones con anticiclones atlánticos. Lo mismo se observa en el contenido de agua de nube, donde al aumentar la difusión se marca mejor el frente y desaparecen los valores espúreos.

En las siguientes dos figuras se muestra el experimento L45. Comparado con las figuras anteriores, se observa más claramente como el valor del coeficiente de difusión determina el ruido de pequeña escala que se mantiene en la predicción. Puesto que en los niveles inferiores el coeficiente de difusión es menor que en el experimento BBB hay más ruido de pequeña escala en la temperatura a 850 mb y en la presión en superficie. En cambio en niveles superiores el efecto es el contrario.

De acuerdo con esto, nuestro problema estaba arreglado con aumentar el valor del coeficiente de difusión dentro de los valores permitidos. Sin embargo, estos valores dependen de la situación y por lo tanto, de forma operativa, no eran válidos valores muy altos tales como los de los experimentos b) y c). Al utilizar dichos valores, el modelo presentaba problemas de inestabilidad computacional.

PRIMERAS PRUEBAS REALIZADAS CON EL ESQUEMA DE DIFUSION HORIZONTAL IMPLICITO

Como consecuencia de la inestabilidad computacional, comenzamos a pensar en los esquemas de difusión horizontal implícitos que habían desarrollado miembros del grupo HIRLAM. La ventaja de estos esquemas es que son absolutamente estables y por lo tanto no presentan inestabilidad computacional. Sin embargo, tal y como se comentó anteriormente, es necesario hacer un estudio del espectro de energía y de la variación de determinadas variables.

Se eligió un esquema implícito de cuarto orden pues aunque esquemas de orden superior son más selectivos consumen bastante más tiempo de ordenador. De todas maneras se realizaron varias pruebas y en el caso considerado no se observaron diferencias cuantificables.

Al montar en el código HIRLAM el esquema implícito, lo primero fue compararlo con el esquema explícito en una situación de verano, en la cual, la versión del modelo presentaba bastante ruido de pequeña escala.

Se trata de la predicción del día 13 de julio de 1995 a las 00Z, en donde comparamos las salidas operativas de los dos modelos HIRLAM_INM: OPR (pasada HIRLAMINM_0.5°) y HIR (pasada HIRLAMINM_0.2°) con la pasada experimental IHD con difusión horizontal implícita. En el experimento IHD se utilizó el mismo valor del coeficiente de difusión para todos los niveles y todas las variables. El valor fue $3.5 \cdot 10^{14}$ para ambos modelos.

Respecto al modelo HIRLAMINM_0.5°, en las figuras 7,8 y 9 se observa como al emplear el esquema implícito desaparece claramente gran parte del ruido de pequeña escala. Incluso, en este caso particular, varían ligeramente los mapas previstos si nos centramos en la baja situada al oeste de las Islas Británicas, pues al aumentar la difusión, en algunos casos, se profundizan menos los sistemas de presión. Posteriormente, en este caso, se comparó con la imagen de satélite y la predicción obtenida con la difusión implícita era más correcta. Pues, aunque la difusión profundice menos los sistemas de presión también elimina ruido, que de otra manera permanece y se arrastra pudiendo provocar la aparición de errores. También se observa que desaparece gran parte de la precipitación espúrea existente debajo del anticiclón atlántico.

Respecto al modelo HIRLAMINM_0.2°, en la figura 10 se observa que, en niveles inferiores, sobre el océano los campos están más suaves mientras que sobre tierra, debido a la orografía, permanecen las pequeñas ondas ligadas a la misma (lógico dada su resolución). En la figura 11, el campo de geopotencial en 500 mb presenta menos ruido de pequeña escala en el experimento IHD, pues ahí la orografía ya no influye, salvo las altas cadenas montañosas. En las figuras 12 y 13 es donde se observan mejor las ventajas del método implícito; se elimina claramente el ruido que se producía en el campo de precipitación sobre los océanos así como en el campo de temperatura a 2 m. en situaciones como ésta, en verano

y al mediodía, sobre la zona de Francia (donde la distancia entre dos puntos de la rejilla es menor y se produce inestabilidad computacional). Sin embargo, también se observa más precipitación en las zonas montañosas que puede estar relacionada con que en dichas zonas la difusión horizontal se convierte en vertical y, al aumentar la difusión, se aumentan las corrientes ascendentes aumentando la precipitación.

Como consecuencia de esta prueba, llegamos a la conclusión que era necesario un estudio más detallado del esquema de difusión horizontal implícito en ambos modelos.

ESTUDIO DEL ESQUEMA DE DIFUSION HORIZONTAL IMPLICITO EN EL MODELO HIRLAMINM_0.5°

Se realizaron varias pruebas: unas, en las que el coeficiente de difusión era constante con la altura y el mismo para todas las variables y otras, en las cuales el coeficiente variaba con la altura; del mismo modo que se estudió el esquema explícito.

Se eligió el día 10 de octubre de 1993 a las 12z por encontrarse dentro del período de otoño de 15 días, en el cual se ha realizado un ciclo de asimilación con ambos tipos de esquemas, el explícito y el implícito, que nos servirá para comparar objetivamente, con los típicos índices de verificación que se emplean en predicción numérica, ambas pasadas.

Los experimentos son:

- a) Experimento OPS ó OPR: difusión horizontal explícita con $K = 0.3 * 10^{14}$
- b) Experimento ISD ó DIC: difusión horizontal implícita con $K = 3.5 * 10^{14}$
- c) Experimento DIL: difusión horizontal implícita con

$K = \{ 3.5 * 10^{14}$ en los 11 niveles inferiores
 $7 * 10^{14}$ en los 8 niveles siguientes
 $14 * 10^{14}$ en los 8 niveles siguientes y
 $28 * 10^{14}$ en los 4 niveles superiores}

- d) Experimento IS3 ó IHD: difusión horizontal implícita con

$K = \{ 3.5 * 10^{14}$ en los 11 niveles inferiores
 $14 * 10^{14}$ en los 10 niveles intermedios y
 $28 * 10^{14}$ en los 10 niveles superiores}

En las figuras 14 y 15 se observa como al utilizar la difusión horizontal implícita disminuye el ruido de pequeña escala, especialmente el que se observa en los anticiclones atlánticos. En los experimentos con difusión implícita no se observan diferencias puesto que el coeficiente de difusión es el mismo en niveles inferiores.

En las figuras 16 y 17, entre el experimento OPS y los restantes se observa lo mismo que en los niveles inferiores, disminuye el ruido de pequeña escala. Sin embargo, puesto que el coeficiente de difusión implícito es diferente en los distintos experimentos se observa que cuanto más aumentamos el coeficiente de difusión los campos aparecen más suavizados. Posteriormente, discutiremos el espectro de energía de estos experimentos que nos arrojará más información.

En las figuras 18 y 19 se observa que entre los experimentos OPS e ISD no hay grandes diferencias. Sin embargo, en DIL e IS3, donde el coeficiente de difusión en niveles superiores es más alto, la bifurcación del chorro situado al oeste de la península no aparece tan claramente y el chorro situado al este ocupa menos área. Es decir, al aumentar el coeficiente de difusión los campos se suavizan pero el modelo está perdiendo energía como veremos posteriormente estudiando las integraciones hasta 96 horas.

En las figuras 20 y 21 se observa que en los experimentos con difusión horizontal implícita desaparece gran parte de la precipitación espúrea que aparece en el experimento OPS. Por lo demás no se observan grandes diferencias entre los experimentos implícitos. Sin embargo, realicé una prueba aumentando bastante más el coeficiente de difusión; en este caso, disminuía la cantidad de precipitación. De acuerdo con otros estudios que comentaré luego, la causa puede estar en que al difundir más no se alcanza, en tantos puntos de rejilla cada paso de tiempo como antes, el valor de referencia necesario para comenzar a precipitar.

En las figuras 22 y 23 se observa lo mismo que en la precipitación; en los experimentos implícitos desaparece gran parte del contenido de agua de nube espúrea que aparece bajo los anticiclones. Las demás estructuras se muestran más suavizadas cuanto más altos son los coeficientes de difusión utilizados en los niveles superiores. Así, mientras el experimento ISD muestra un gran núcleo sobre Inglaterra, el experimento IS3 difunde ese núcleo y lo funde con el situado al oeste del anterior en un único núcleo. Esto refuerza la explicación de que al aumentar la difusión disminuya la precipitación.

Como consecuencia de los resultados obtenidos, era necesario un estudio más detallado de determinadas variables a un plazo de integración más largo. Se realizaron integraciones a 96 horas y se estudió la variación temporal del promedio en todo el área de integración de las siguientes variables:

- presión en superficie,
- energía cinética,
- humedad específica,
- contenido de agua de nube y
- energía potencial y total

Se deduce que cuanto más aumenta la difusión, la energía cinética es menor pero la variación temporal es semejante en todos los experimentos (importante). La presión en superficie prácticamente no varía. Si se aumenta todavía más la difusión, se profundizan menos los sistemas de presión. La humedad específica es mayor para el mismo periodo de tiempo en los campos tratados con difusión horizontal implícita (se empieza a notar a partir de 42 horas). El agua de nube también es mayor en los campos obtenidos con difusión horizontal implícita (esto ocurre prácticamente desde el principio, quizás relacionado con la falta de first-guess para inicializar esta variable). Los campos de energía total no se muestran pues no existen diferencias al ser mucho mayor la energía potencial que la cinética.

Cuando se aumenta la difusión en niveles superiores se agudiza lo anterior, pero los valores son muy parecidos. Las diferencias son más claras entre el experimento OPS y los otros experimentos con difusión horizontal implícita.

Juntando esta información con el estudio anterior de los campos previstos a 48 horas, se deduce más claramente que el aumento de la humedad específica está ligado a la disminución de la precipitación de acuerdo con el razonamiento anterior. Lo que ocurre es que, al aumentar la difusión, aumenta la humedad específica porque son más los puntos con valores altos de la humedad específica pero menos los puntos que alcanzan el valor de referencia para comenzar a precipitar y esto se traduce en una disminución de la precipitación.

También se estudió el espectro relativo de energía cinética. Dan información acerca de que número de ondas se empieza a perder energía y por tanto quedan eliminadas dichas ondas. De esta manera podemos saber si es un esquema muy selectivo ó no (elimina las longitudes de onda que nos interesa o al contrario se pierde energía en ondas cuyo número de ondas es representativo de la escala sinóptica).

En las figuras 24, 25, 26 y 27, las líneas a puntos representan el espectro relativo teórico de la atmósfera si el área considerada fuera un cuadrado (por lo tanto es un espectro de referencia pero hay que tratarlo como tal pues nuestra área no es un cuadrado); las líneas discontinuas representan el espectro relativo del experimento con difusión horizontal explícita y las líneas continuas representan el espectro relativo de los diferentes experimentos con difusión horizontal implícita.

El eje de ordenadas representa el valor relativo de la energía cinética promediada en diferentes niveles y el eje de abscisas representa el número de onda.

La figura 24 representa el espectro relativo de energía promediado en todos los niveles. Observando los perfiles continuos frente a los discontinuos lo que salta a la vista es que efectivamente el esquema implícito pierde más energía a partir de determinadas longitudes de onda que el esquema explícito, y especialmente en longitudes de onda pequeña, eliminando más ruido de pequeña escala. Según aumenta el coeficiente de difusión se observa que el número de ondas a partir del cual se pierde energía es menor, es decir, para longitudes de onda mayores; lo cual hay que tenerlo en cuenta, pues tampoco debe perder energía para longitudes de onda propias de la escala sinóptica.

En las siguientes figuras se estudia dichos espectros según la zona de la atmósfera, desde los niveles inferiores hasta los superiores, para diferenciar en qué longitudes de onda pierde energía según la altura.

En la figura 25 se representa el espectro relativo de energía cinética promediado en los diez niveles superiores. Aquí se observa más claramente qué cuanto más grande es el coeficiente de difusión más energía se pierde en longitudes de onda mayores y más rápidamente. Por lo tanto, debemos tener

cuidado al aumentar los coeficientes de difusión pues, aunque los campos quedan más suavizados, el modelo pierde energía demasiado rápido y en longitudes de onda que pueden tener significado sinóptico, como se observa al alejarse del espectro relativo de la atmósfera.

En la figura 26 se representa el espectro relativo de energía cinética promediado en los diez niveles intermedios. Se observa lo mismo que en la figura anterior y además, en los experimentos IHD y DIL, crece la energía en números de onda grandes, es decir, aumenta la energía del ruido de pequeña escala, lo cual, va en contra de nuestro objetivo.

En la figura 27 se representa el espectro relativo de energía cinética promediado en los diez niveles inferiores. En este caso los tres perfiles continuos son muy parecidos pues los tres experimentos poseen los mismos coeficientes de difusión en estos niveles. También se observa como los perfiles continuos están más de acuerdo con el espectro relativo teórico de la atmósfera y se pierde energía en longitudes de onda pequeñas (respecto a la escala sinóptica).

Por lo tanto, del estudio del espectro relativo de energía cinética se deduce que el esquema implícito efectivamente elimina más ruido de pequeña escala (longitudes de onda pequeñas no representativas de la escala sinóptica), pero hay que tener cuidado con el valor del coeficiente de difusión que se elija. **Cuando aumentamos el coeficiente de difusión con la altura se observa que se pueden eliminar longitudes de onda significativas sinópticamente e incluso realimentar el ruido de pequeña escala al aumentar la energía de ondas pequeñas como se observa en los experimentos IHD y DIL.**

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSION EN EL ESQUEMA IMPLICITO EN EL MODELO HIRLAMINM_0.5°

De acuerdo con el estudio anteriormente expuesto llegamos a la conclusión que no era beneficioso aumentar el coeficiente de difusión con la altura salvo en los últimos cinco niveles situados en la estratosfera, es lo que se denomina capa absorbente. En las situaciones en las cuales el análisis presenta un excesivo ruido, estas capas eliminan gran parte del mismo, no siendo necesarias en otros casos y no alterando el valor de las variables su presencia. La relación en los coeficientes de difusión en la capa absorbente es de factor de 2, de forma que el coeficiente de difusión de los dos últimos niveles es 16 veces el valor del coeficiente en los niveles inferiores. Es una relación semejante a la existente en otros modelos operativos (por ejemplo en el CEPPM). También pensamos en estudiar otro experimento con menor coeficiente de difusión para evitar eliminar longitudes de onda significativas sinópticamente.

Se realizaron dos experimentos:

a) Experimento DI1: difusión horizontal implícita con

$$K = \{ \begin{array}{l} 3.5 \cdot 10^{14} \text{ en los 26 niveles inferiores,} \\ 7 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 5,} \\ 14 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 4,} \\ 28 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 3 y} \\ 56 \cdot 10^{14} \text{ en los 2 niveles superiores } \end{array} \}$$

b) Experimento DI2: difusión horizontal implícita con

$$K = \{ \begin{array}{l} 2.0 \cdot 10^{14} \text{ en los 26 niveles inferiores,} \\ 4 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 5,} \\ 8 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 4,} \\ 16 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 3 y} \\ 32 \cdot 10^{14} \text{ en los 2 niveles superiores } \end{array} \}$$

Del mismo modo, se estudiaron los espectros relativos de energía cinética. En las figuras 28, 29, 30 y 31, las líneas a puntos representan el espectro relativo de la atmósfera si el área considerada fuera un cuadrado; las líneas discontinuas representan el espectro relativo del experimento con difusión horizontal explícita y las líneas continuas representan el espectro relativo de los diferentes experimentos con difusión horizontal implícita.

El eje de ordenadas representa el valor relativo de la energía cinética promediada en diferentes niveles y el eje de abscisas representa el número de onda.

Al comparar ambos experimentos se deduce que el experimento DI2 (con menor coeficiente de difusión) no se aparta tanto del espectro relativo teórico de la atmósfera y decae progresivamente en las altas frecuencias, sin observarse procesos de realimentación en las escalas pequeñas. Por lo tanto elimina ruido de pequeña escala pero conserva el espectro relativo teórico de la atmósfera sin eliminar longitudes de onda significativas sinópticamente.

Estudiando la variación temporal del promedio en todo el área de integración de las diferentes variables antes expuestas, se llega a la conclusión que también con un coeficiente de difusión menor no se altera, respecto al esquema explícito, el comportamiento de las diferentes variables. La humedad específica y el contenido de agua de nube son algo mayores pero prácticamente iguales a los valores obtenidos con el esquema explícito. Las demás variables no presentan diferencias significativas.

ESTUDIO DEL ESQUEMA DE DIFUSION HORIZONTAL IMPLICITO EN EL MODELO HIRLAMINM_0.2°

Se realizaron varias pruebas: unas, en las que el coeficiente de difusión era constante con la altura y el mismo para todas las variables y otras, en las que el coeficiente es constante con la altura y es el mismo para las componentes horizontales del viento u y v y para la temperatura T y diferente para la humedad específica q .

Se eligió el día 10 de octubre de 1993 a las 12z, la misma fecha que en el modelo HIRLAMINM_0.5°.

Los experimentos son:

- a) Experimento HID ó HIR: difusión horizontal explícita con $K = 0.2 * 10^{14}$
- b) Experimento HIC: difusión horizontal implícita con $K = 3.5 * 10^{14}$
- c) Experimento HIS: difusión horizontal implícita con

$$K = \left\{ \begin{array}{l} 2.0 * 10^{14} \text{ en } u, v \text{ y } T \\ 0.5 * 10^{14} \text{ en } q \end{array} \right\}$$

- d) Experimento HI3: difusión horizontal implícita con

$$K = \left\{ \begin{array}{l} 3.0 * 10^{14} \text{ en } u, v \text{ y } T \\ 0.5 * 10^{14} \text{ en } q \end{array} \right\}$$

En las figuras 32 y 33 se observa que en los experimentos implícitos disminuye el ruido de pequeña escala en el océano. Sobre tierra la situación es muy parecida si bien el ruido sobre las zonas montañosas disminuye si disminuimos la difusión de la humedad específica.

En las figuras 34 y 35 se observa lo mismo que en las anteriores.

En las figuras 36 y 37 no aparecen diferencias; en el caso del modelo HIRLAMINM_0.2° se varía el coeficiente según las variables pero no con la altura. Esto se debe al estudio anterior del modelo HIRLAMINM_0.5°, donde observamos que era peligroso aumentar el coeficiente de difusión con la altura pues se perdía energía en longitudes de onda que podían ser significativas sinópticamente, especialmente en los niveles donde se modeliza el chorro.

En las figuras 38 y 39 hay que destacar dos puntos. Utilizando el esquema de difusión horizontal explícito aparece ruido en la precipitación sobre los océanos que debe ser eliminado. En los experimentos implícitos desaparece ese ruido pero

se observa en el experimento HIC precipitación espúrea asociada a puntos de rejilla en las zonas montañosas, donde el coeficiente de difusión es el mismo para todas las variables. De esto se deduce que es necesario disminuir la difusión de la humedad específica como se realiza en los experimentos HIS y HI3. Efectivamente parte de este ruido sobre las zonas montañosas disminuye al disminuir la difusión de la humedad específica, lo mismo que se hizo en la pasada operativa con el esquema explícito.

En las figuras 40 y 41 se observa que al emplear el esquema implícito desaparece el ruido que existe al norte del área ligado, como en el caso de verano estudiado primeramente, a la menor distancia entre dos puntos de la rejilla (lo cual provoca inestabilidad computacional en el caso explícito).

En las figuras 42 y 43 se confirma la idea de la necesidad de difundir menos la humedad específica. Mirando el experimento HIC, donde el coeficiente de difusión de la humedad específica es el mayor, vemos que aparecen núcleos asociados a zonas montañosas que no representan un contenido de agua de nube real y que no aparecen en el experimento HID con difusión horizontal explícita. Sin embargo, a pesar de disminuir el valor del coeficiente de difusión de la humedad específica en los experimentos HIS y HI3, permanece algún pequeño núcleo ligado a la orografía. La explicación más lógica es que en las zonas montañosas la difusión horizontal se convierte en vertical y aumenta las corrientes verticales de una forma errónea.

Al igual que se hizo con el modelo HIRLAMINM_0.5°, se realizaron integraciones largas a 48 horas del modelo HIRLAMINM_0.2° y se estudió la variación temporal del promedio en todo el área de integración de las siguientes variables:

- presión en superficie,
- energía cinética,
- humedad específica,
- contenido de agua de nube y
- energía potencial y total

Se deduce que la energía cinética para el mismo periodo de tiempo es ligeramente menor cuando se emplea la difusión implícita. La variación temporal de la energía cinética es semejante en todos los experimentos. La presión en superficie es prácticamente igual. Sin embargo, al contrario que en el caso del modelo HIRLAMINM_0.5°, la humedad específica es mayor en el experimento con difusión explícita. Si lo relacionamos con lo observado en los mapas previstos, aparece más precipitación en las zonas montañosas con la difusión implícita y ésta podría ser la causa de que la humedad específica sea menor en los experimentos implícitos.

Sin embargo, en el experimento HI3, la precipitación es menor y la humedad específica total también si bien el contenido de agua de nube en las primeras veinticuatro horas es mayor que en el experimento HIR con difusión explícita.

Cuando se difunde menos la humedad específica hay menos humedad específica pero hay más contenido de agua de nube (que no se difunde), es como si se acumulase la humedad en agua de nube. Por lo tanto, en este caso aparece una relación más compleja entre estos parámetros: humedad específica, contenido de agua de nube y precipitación. También se observa que, en el experimento HIR, el contenido de agua de nube es mayor en las últimas horas que en los experimentos con difusión implícita y de hecho no alcanza las 48 horas de integración porque explota por inestabilidad computacional.

Quizás sea necesario un experimento en el cual también se difundiese el contenido de agua de nube en la misma medida que se difunde la humedad específica (en el momento actual eso no está codificado, pues no está claro que se pueda o deba difundir el contenido de agua de nube).

También se estudió el espectro relativo de energía cinética.

En las figuras 44, 45, 46 y 47, las líneas a puntos representan el espectro relativo teórico de la atmósfera si el área considerada fuera un cuadrado (por lo tanto es un espectro de referencia pero hay que tratarlo como tal pues nuestra área no es un cuadrado); las líneas discontinuas representan el espectro relativo del experimento con difusión horizontal explícita y las líneas continuas representan el espectro relativo de los diferentes experimentos con difusión horizontal implícita.

El eje de ordenadas representa el valor relativo de la energía cinética promediada en diferentes niveles y el eje de abscisas representa el número de onda.

La figura 44 representa el espectro relativo de energía cinética promediado en todos los niveles. Al igual que en el modelo HIRLAMINM_0.5°, el esquema implícito pierde más energía que el explícito a partir de determinadas longitudes de onda, y especialmente en longitudes de onda pequeña, eliminando más ruido de pequeña escala.

La figura 45 representa el espectro relativo de energía cinética promediado para los diez niveles superiores. Se observa que el experimento HIC, con mayor coeficiente de difusión para todas las variables, se pierde más energía en longitudes de onda mayores y más rápidamente. Al igual, que en el modelo HIRLAMINM_0.5°, hay que tener cuidado para no eliminar longitudes de onda que tengan significado sinóptico.

La figura 46 representa el espectro relativo de energía cinética promediado para los diez niveles intermedios. Se observa lo mismo que en la figura anterior, si bien en este caso son muy semejantes los espectros continuos.

La figura 47 representa el espectro relativo de energía cinética promediado en los once niveles inferiores. Se observa que los perfiles continuos están más de acuerdo con el espectro relativo teórico de la atmósfera y se pierde energía en longitudes de onda pequeñas (respecto a la escala sinóptica).

Por lo tanto, del estudio del espectro relativo de energía cinética se deduce que el esquema implícito efectivamente elimina más ruido de pequeña escala, especialmente en los niveles inferiores y medios. Respecto a los niveles superiores hay que tener cuidado con la elección del coeficiente de difusión pues se puede eliminar longitudes de onda significativas sinópticamente.

Por último, las figuras 48, 49 y 50 muestran un experimento en el cual se aumentó el valor del coeficiente de difusión horizontal implícita a $14 \cdot 10^{14}$ para observar con más claridad el resultado de aumentar tal coeficiente. Se observa como aumenta el ruido en las zonas montañosas, e incluso sobre tierra, mientras que sobre los océanos los campos están más suavizados. Aumenta la precipitación espúrea en las zonas montañosas asociada a núcleos de agua de nube en las mismas zonas. Y el espectro relativo de energía cinética promediado en todos los niveles muestra como el esquema con tal coeficiente pierde energía más rápidamente y en longitudes de onda significativas sinópticamente, alejándose del espectro relativo teórico de la atmósfera.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSION EN EL ESQUEMA IMPLICITO EN EL MODELO HIRLAMINM_0.2°

Al igual que en el modelo HIRLAMINM_0.5°, llegamos a la conclusión que sería más beneficioso, para el desarrollo de los sistemas de presión a lo largo de la integración, elegir un coeficiente de difusión algo menor constante con la altura, salvo una capa absorbente. De esta forma se elimina ruido de pequeña escala pero sin eliminar longitudes de ondas significativas sinópticamente.

Se realizaron tres nuevos experimentos:

a) Experimento HI2: esquema de difusión implícita con

$$K = \{ \begin{array}{l} 2.0 \cdot 10^{14} \text{ en los 26 niveles inferiores,} \\ 4 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 5,} \\ 8 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 4,} \\ 16 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 3 y} \\ 32 \cdot 10^{14} \text{ en los 2 niveles superiores para } u, v \text{ y } T \\ \text{y } 2 \cdot 8 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 4 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 2 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 1 \cdot 10^{14} \text{ y } 26 \cdot 0.5 \cdot 10^{14} \text{ para } q \end{array} \}$$

b) Experimento HNL: esquema de difusión implícita con

$$K = \{ \begin{array}{l} 1.0 \cdot 10^{14} \text{ en los 26 niveles inferiores,} \\ 2 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 5,} \\ 4 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 4,} \\ 8 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 3 y} \\ 16 \cdot 10^{14} \text{ en los 2 niveles superiores para } u, v \text{ y } T \\ \text{y } 2 \cdot 4 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 2 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 1 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 0.5 \cdot 10^{14} \text{ y } 26 \cdot 0.25 \cdot 10^{14} \text{ para } q \end{array} \}$$

c) Experimento BDN: esquema de difusión implícita con

$$K = \{ \begin{array}{l} 1.0 \cdot 10^{14} \text{ en los 26 niveles inferiores,} \\ 2 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 5,} \\ 4 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 4,} \\ 8 \cdot 10^{14} \text{ en el nivel 3 y} \\ 16 \cdot 10^{14} \text{ en los 2 niveles superiores para } u, v \text{ y } T \\ \text{y } 2 \cdot 16 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 8 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 4 \cdot 10^{14}, 1 \cdot 2 \cdot 10^{14}, 18 \cdot 1.0 \cdot 10^{14} \text{ y } 8 \cdot 0.25 \cdot 10^{14} \text{ para } q \end{array} \}$$

Del mismo modo se estudiaron los espectros relativos de energía cinética. En las figuras 51, 52, 53 y 54, las líneas a puntos representan el espectro relativo de la atmósfera si el área considerada fuera un cuadrado; las líneas discontinuas representan el espectro relativo del experimento con difusión horizontal explícita y las líneas continuas representan el espectro relativo de los diferentes experimentos con difusión horizontal implícita.

El eje de ordenadas representa el valor relativo de la energía cinética promediada en diferentes niveles y el eje de abscisas representa el número de onda.

Al comparar los experimentos se llega a la misma conclusión que con el modelo de resolución 0.5°; se deduce que el espectro relativo de energía cinética del experimento HNL (con menor difusión) es prácticamente paralelo al espectro teórico de la atmósfera. En todos los experimentos no se observan procesos de realimentación del ruido de pequeña escala. Los resultados de los experimentos HNL y BDN son semejantes, lo que demuestra que no es necesaria una restricción sobre la humedad específica como la del experimento HNL; es suficiente con tener un coeficiente de difusión menor de la humedad específica respecto de las otras variables en la capa límite solamente.

Estudiando la variación temporal del promedio en todo el área de integración de las diferentes variables expuestas, se llega a las mismas conclusiones que con los otros experimentos expuestos anteriormente.

VERIFICACION OBJETIVA DE LOS ESQUEMAS DE DIFUSION HORIZONTAL

Se hicieron dos pasadas paralelas del modelo HIRLAMINM_0.5°, desde el 4 de octubre de 1993 a las 12z hasta el 19 de octubre de 1993 a las 12z. Cada una de ellas con un esquema de difusión horizontal, una explícito con coeficiente de difusión constante $K = 0.5 * 10^{14}$ (experimento OPR) y otra implícito con coeficiente de difusión constante $K = 3.5 * 10^{14}$ (experimento IHD).

Cada pasada paralela tuvo su propio ciclo de asimilación con lo que se observa mejor las repercusiones de cada esquema.

Para verificar las predicciones de estos quince días se emplearon las técnicas de la verificación objetiva, con los índices que se utilizan normalmente en predicción numérica.

Resumiendo lo más sobresaliente, cabe destacar que de acuerdo con las figuras 55 y 56, que representan los errores medios a 48 horas, se observa como en niveles inferiores y medios los errores medios son menores con el esquema implícito, especialmente en el océano Atlántico. En cambio, en el mapa de 300 mb, los errores medios son menores ó mayores según la zona del mapa que miremos, pero sobre el atlántico incluso los errores medios son mayores con el esquema implícito.

Esto mismo se observa en las siguientes figuras que representan el error cuadrático medio a 48 horas, con la salvedad de que dichos errores son del mismo orden de magnitud en niveles altos en ambos experimentos. Esto es debido a que los errores cuadráticos medios representan la desviación respecto a la media del error medio, que debe ser del mismo orden en ambos experimentos.

En las figuras 59 y 60 se ve con más claridad los errores medios de las diferentes variables del modelo según los niveles. Efectivamente, los campos de geopotencial y temperatura presentan errores medios más pequeños en niveles bajos y medios con el esquema implícito, mientras que en niveles altos los errores medios son mayores con tal esquema. El campo de humedad relativa posee errores medios algo mayores, aunque es prácticamente imperceptible. Los errores medios de las componentes del viento son del mismo orden.

CONCLUSIONES

Respecto al modelo HIRLAMINMO.5°, utilizando el esquema implícito de la difusión horizontal frente al explícito cabe destacar:

- disminuye el ruido de pequeña escala en todos los campos en niveles bajos y medios, especialmente en las zonas oceánicas.
- desaparece gran parte de la precipitación espúrea que se observaba debajo de los anticiclones atlánticos.
- la energía cinética es ligeramente menor, pero no se producen variaciones significativas en los campos de viento.
- la energía global no varía, debido a que la energía potencial es mucho mayor que la cinética.
- la humedad específica y el contenido de agua de nube son mayores y la precipitación total es menor. La causa puede estar en que, al aumentar la difusión, son más los puntos con valores altos de la humedad específica pero menos los puntos que alcanzan el valor de referencia para comenzar a precipitar.
- Si aumentamos el coeficiente de difusión por encima de $K = 2.0 \cdot 10^{14}$, el espectro relativo de energía cinética promediado en los niveles superiores se aleja del espectro relativo teórico de la atmósfera e incluso realimenta el ruido de pequeña escala al aumentar la energía de ondas pequeñas.
- los campos de geopotencial y temperatura poseen errores medios y cuadráticos medios menores en niveles medios y bajos. En niveles altos los errores cuadráticos medios son del mismo orden y los errores medios algo mayores.
- las otras variables presentan errores del mismo orden.

Como consecuencia de lo expuesto, se decidió elegir para la pasada operativa el esquema implícito con coeficiente de difusión constante con la altura y el mismo para las componentes horizontales del viento u y v , la temperatura T y la humedad específica q . El valor de dicho coeficiente es $K = 2.0 \cdot 10^{14}$ (experimento D12). No se eligieron los experimentos con mayor coeficiente y en los cuales el coeficiente aumentaba con la altura pues se eliminaban longitudes de onda de escala sinóptica y se suavizaba en exceso estructuras como el chorro.

Respecto al modelo HIRLAMINM_0.2°, utilizando el esquema implícito de la difusión horizontal frente al esquema explícito, cabe destacar:

- disminuye el ruido de pequeña escala en todos los campos y niveles sobre mar.

- sobre tierra, si aumentamos el coeficiente de difusión aumenta el ruido sobre las zonas montañosas, especialmente en niveles bajos donde la influencia de la orografía es mayor. Ligado al hecho de que la difusión horizontal cerca de los sistemas montañosos con mucha pendiente se convierte parcialmente en difusión vertical, aumentando erróneamente las corrientes ascendentes.
- desaparece el ruido en la precipitación sobre el océano, debido a que el esquema implícito no presenta inestabilidad computacional.
- es necesario que la difusión sea menor en la humedad específica frente a las otras variables para que disminuya el ruido sobre las zonas montañosas y desaparezca gran parte de la precipitación espúrea asociada a dichas zonas. Sin embargo, parece suficiente con que esta restricción se aplique sólo a la capa límite.
- desaparece el ruido de inestabilidad computacional que aparecía en el campo de la temperatura a 2 m., especialmente en situaciones de fuerte calentamiento.
- la energía cinética es ligeramente menor, sin afectar a los campos de viento.
- la energía global no varía, por la misma causa que en el modelo de resolución 0.5°.
- los valores absolutos del geopotencial y de la presión en superficie prácticamente no varían.
- aparece una relación más compleja entre los parámetros: humedad específica, contenido de agua de nube y precipitación. La precipitación total y la humedad específica total son menores si bien el contenido de agua de nube es mayor. Quizás sea necesario difundir el contenido de agua de nube (que no se difunde) en la misma medida que la humedad específica.
- del estudio del espectro relativo de energía cinética se deduce que elimina más ruido de pequeña escala, especialmente en los niveles bajos y medios. Respecto a los niveles altos, hay que tener cuidado con la elección del coeficiente de difusión pues si es muy alto puede eliminar longitudes de onda significativas sinópticamente.

Como consecuencia de lo expuesto, se decidió elegir para la pasada operativa el esquema implícito que no presenta problemas de inestabilidad computacional y elimina más ruido de pequeña escala. Nos decidimos por el experimento BDN cuyo coeficiente de difusión es $k = 0.25 \cdot 10^{14}$ para la humedad específica q en la capa límite y $k = 1.0 \cdot 10^{14}$ para las componentes horizontales del viento u y v , para la temperatura T y para la humedad específica q en los niveles por encima de la capa límite.

BIBLIOGRAFIA

Eerola, K., 1993: Experimentation with second and fourth order horizontal diffusion schemes. HIRLAM Technical Report no. 13. Available from Kalle Eerola, Finnish Meteorological Institute, P.O.B. 503, SF-00101 Helsinki, Finland.

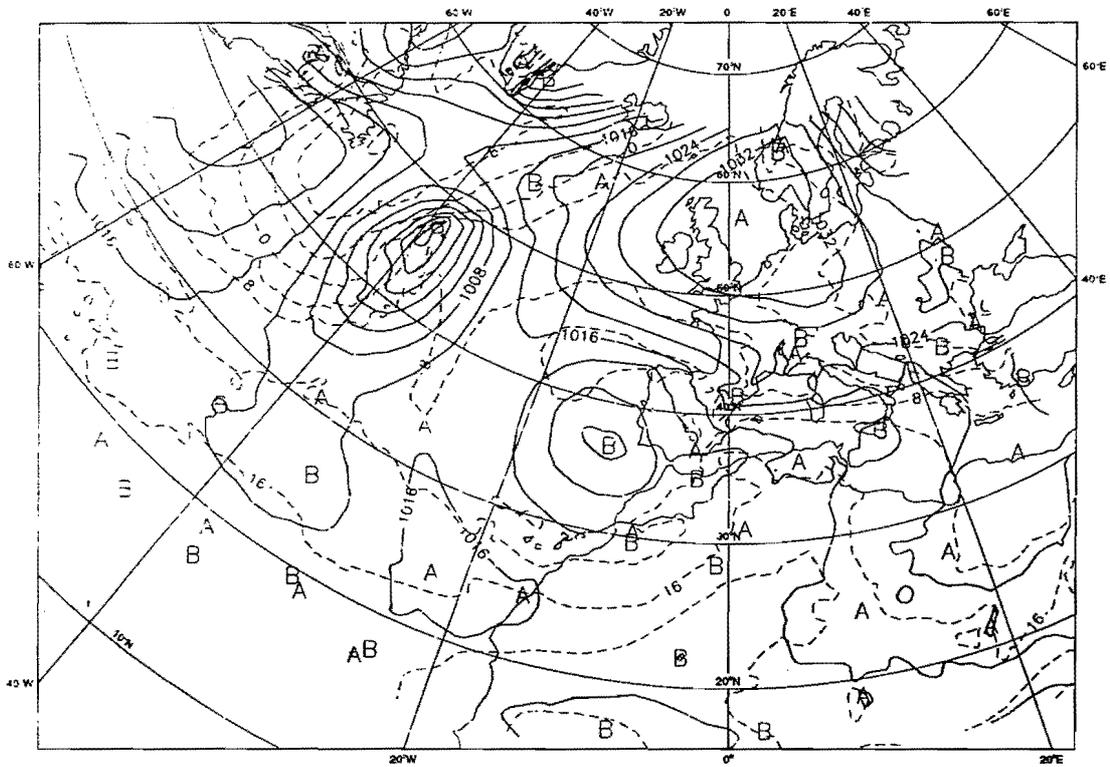
Martínez, Navascués y Rodríguez, 1995: First Impressions about the experimental HIRLAM(INM!) with resolution 0.2°. HIRLAM3 Workshop on fine scale atmospheric modelling for operational applications, Copenhagen, 30-31 March 1995, pp. 36-39.

McDonald, A., 1994: Using second, fourth, and sixth order implicit horizontal diffusion to control noise in three dimensional semi-Lagrangian, semi-implicit, limited area, grid point models of the primitive equations. HIRLAM3 Workshop on numerical integration techniques, Oslo, 26-27 January 1994, p17.

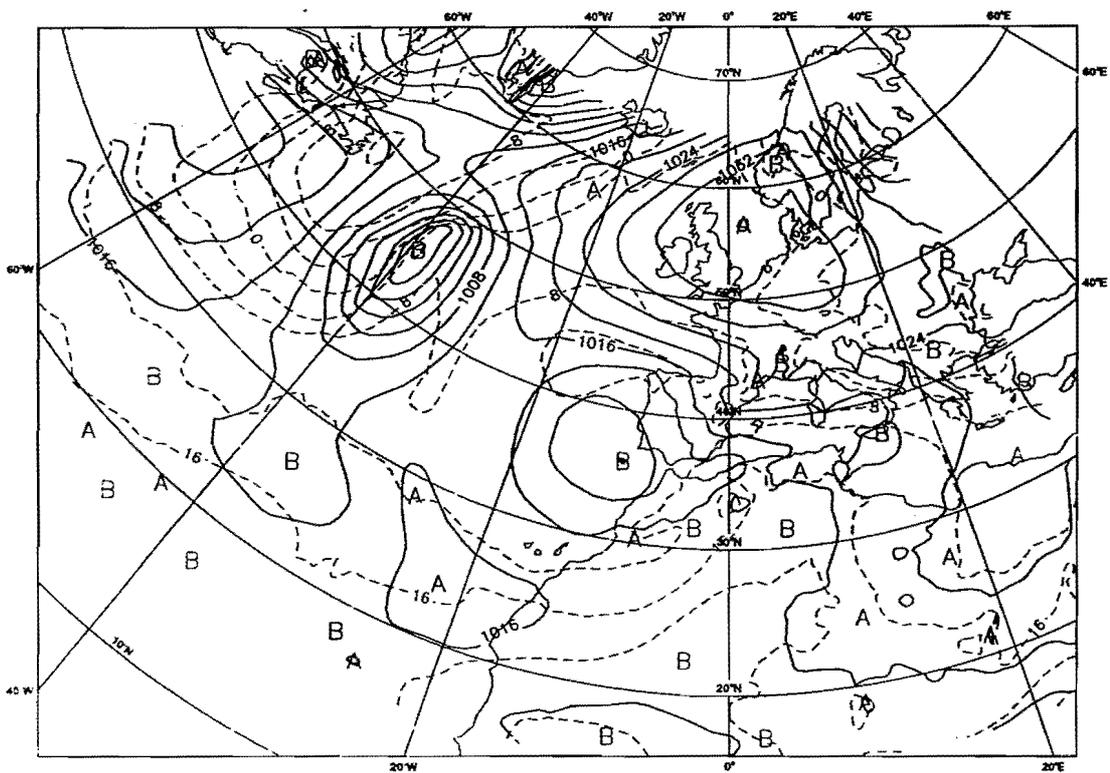
McDonald, A., 1995: Additional testing of the implicit horizontal diffusion schemes. HIRLAM Newsletter, no 19, April 1995, pp. 54-57.

Stephenson, D., 1994: The impact of changing the horizontal diffusion scheme on the northern winter climatology of a general circulation model. Q.J.R. Meteorol. Soc. (1994), 121, pp. 211-226.

ANEXO

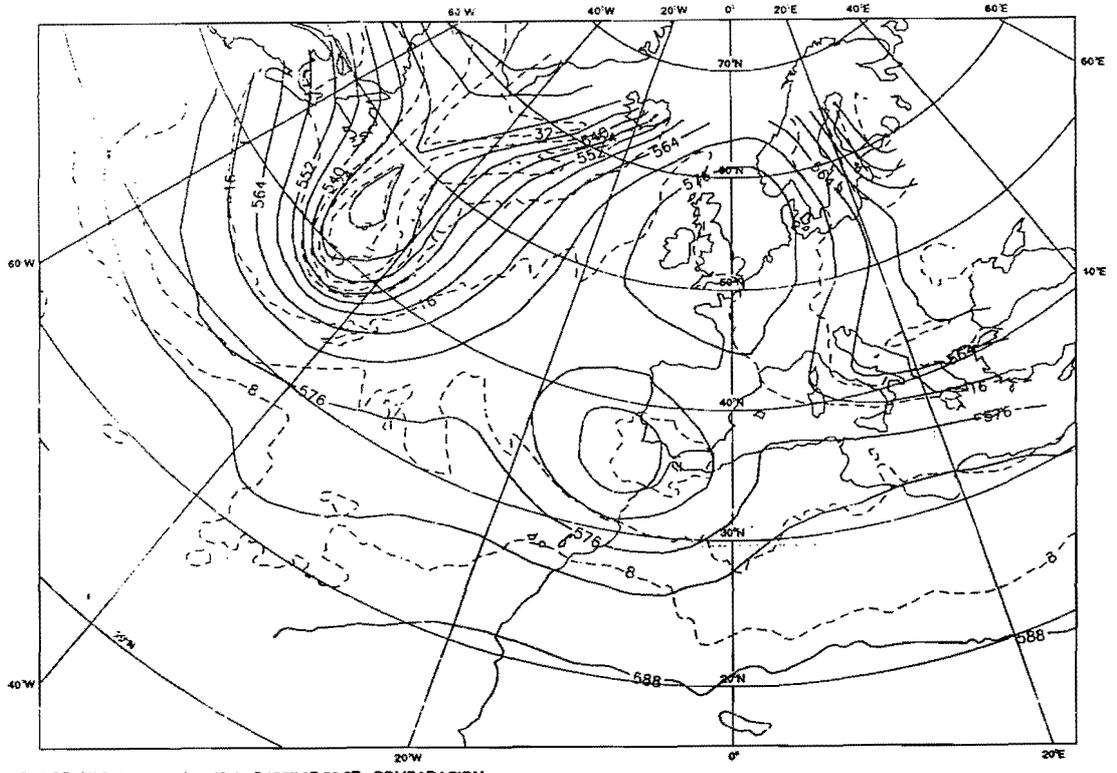


MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuima 10 April 1995 07:22:29 - COMPARACION



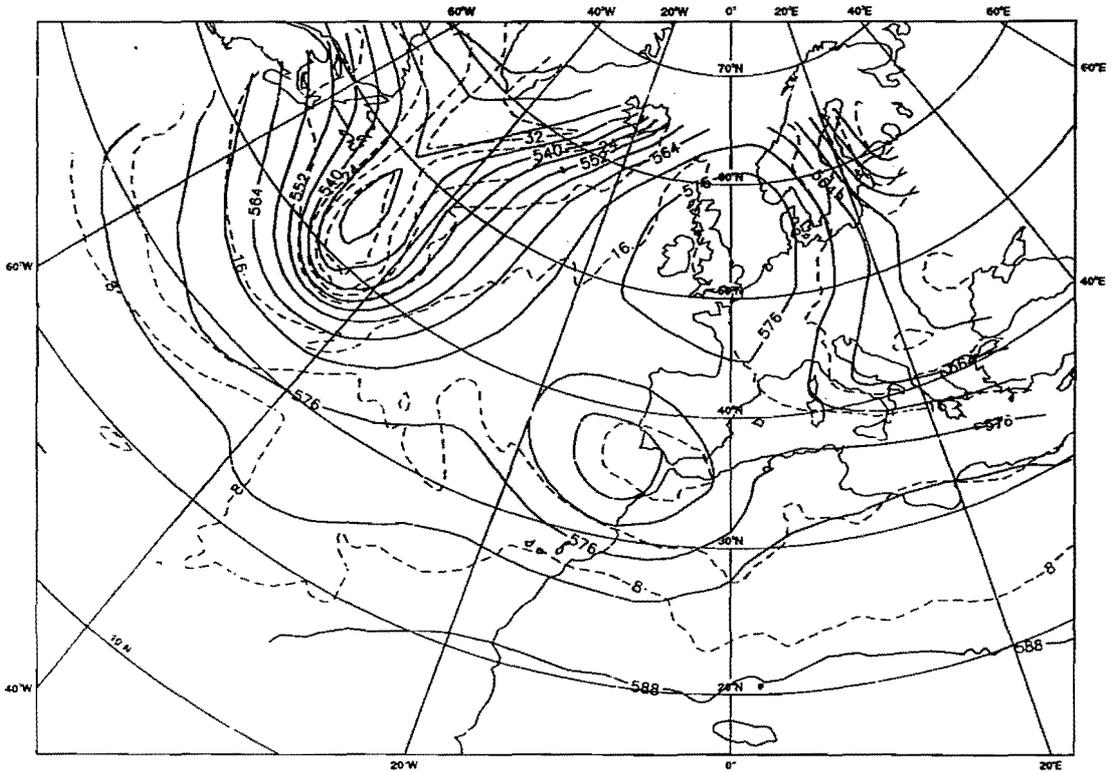
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuima 18 April 1995 07:40:13 - COMPARACION

Figura 1.- Presión en superficie y temperatura en 850 mb de los experimentos GAN y BBB de alcance H+24



MAGICS 5.03 CRAY/hibus - pnuima 10 April 1995 07:22:37 - COMPARACION

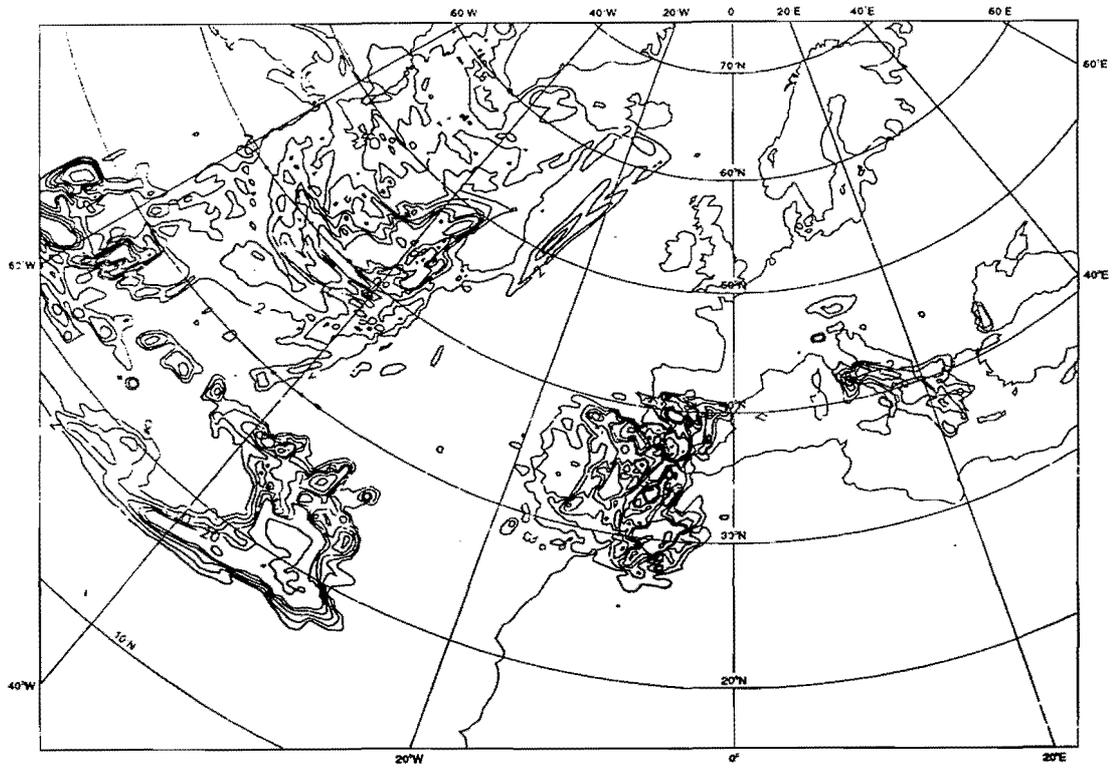
3



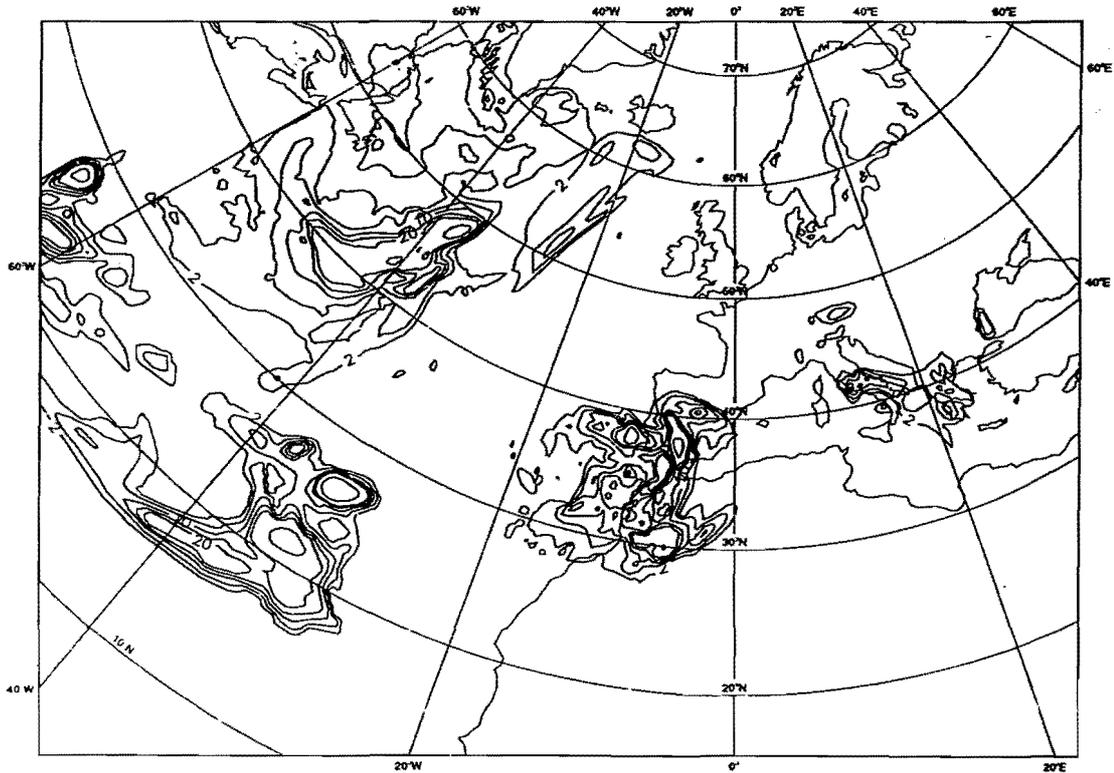
MAGICS 5.03 CRAY/hibus - pnuima 18 April 1995 07:40:21 - COMPARACION

3

Figura 2.- Geopotencial y temperatura en 500 mb de los experimentos GAN y BBB del alcance H + 24



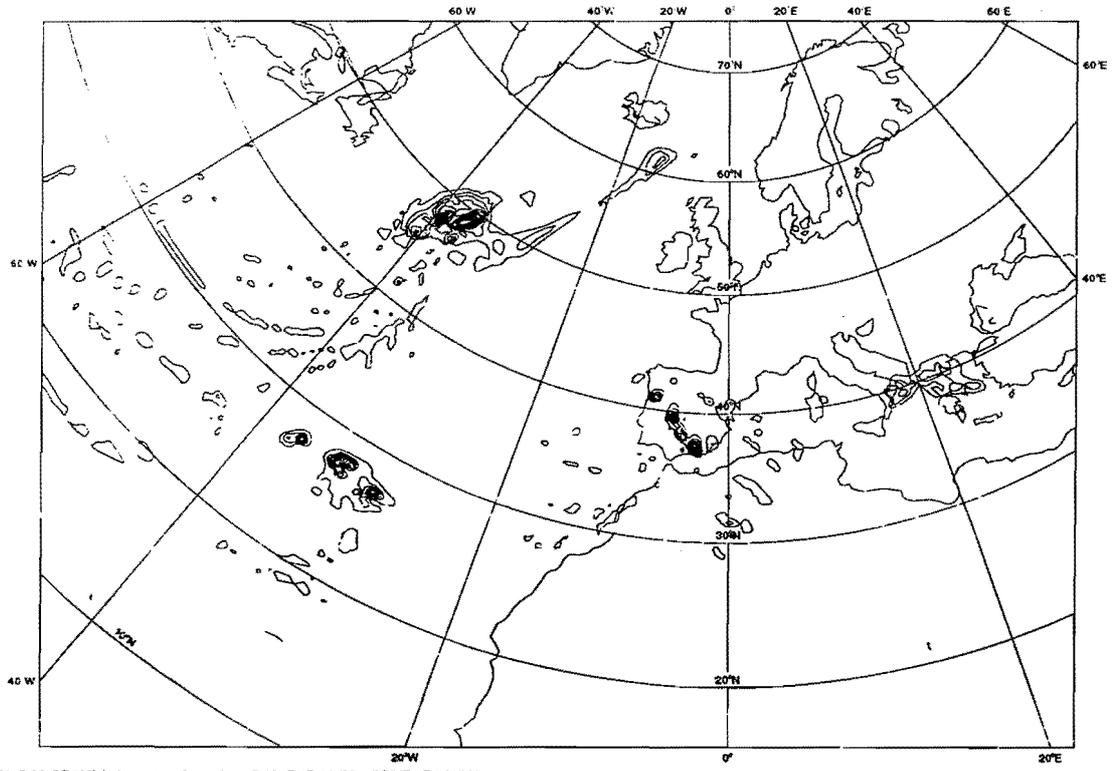
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuuma 10 April 1995 07:22:46 - COMPARACION



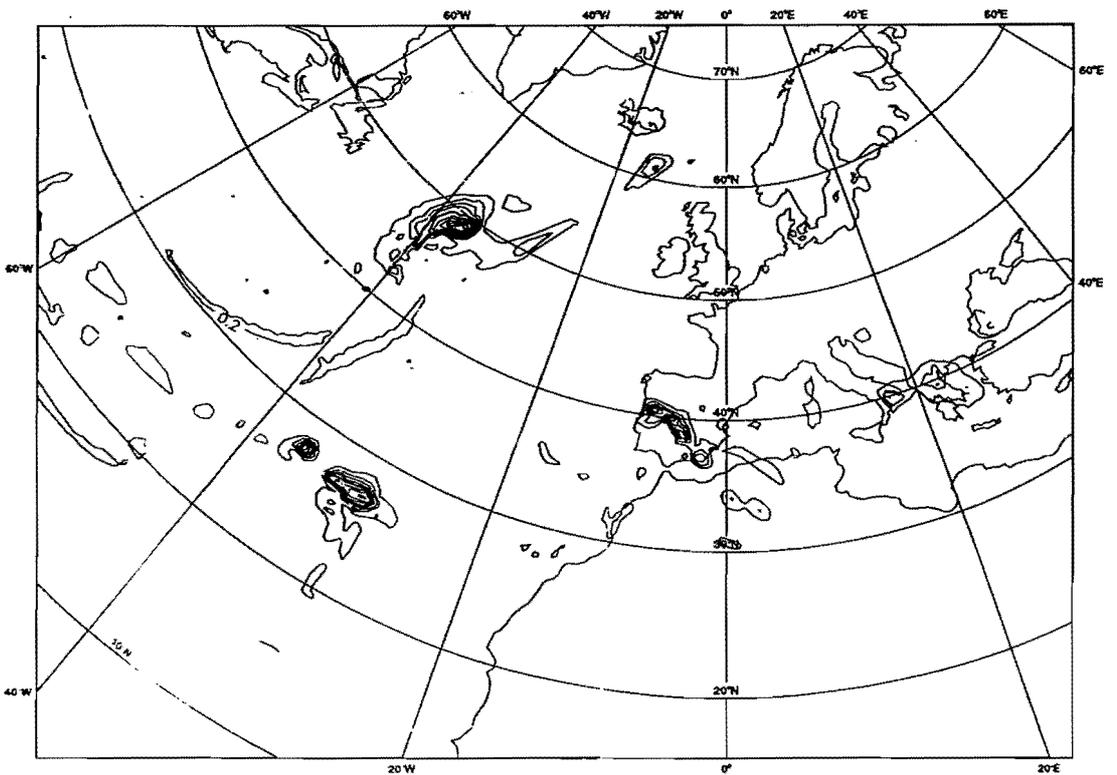
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuuma 18 April 1995 07:40:29 - COMPARACION



Figura 3.- Precipitación total de los experimentos GAN y BBB del alcance H+24

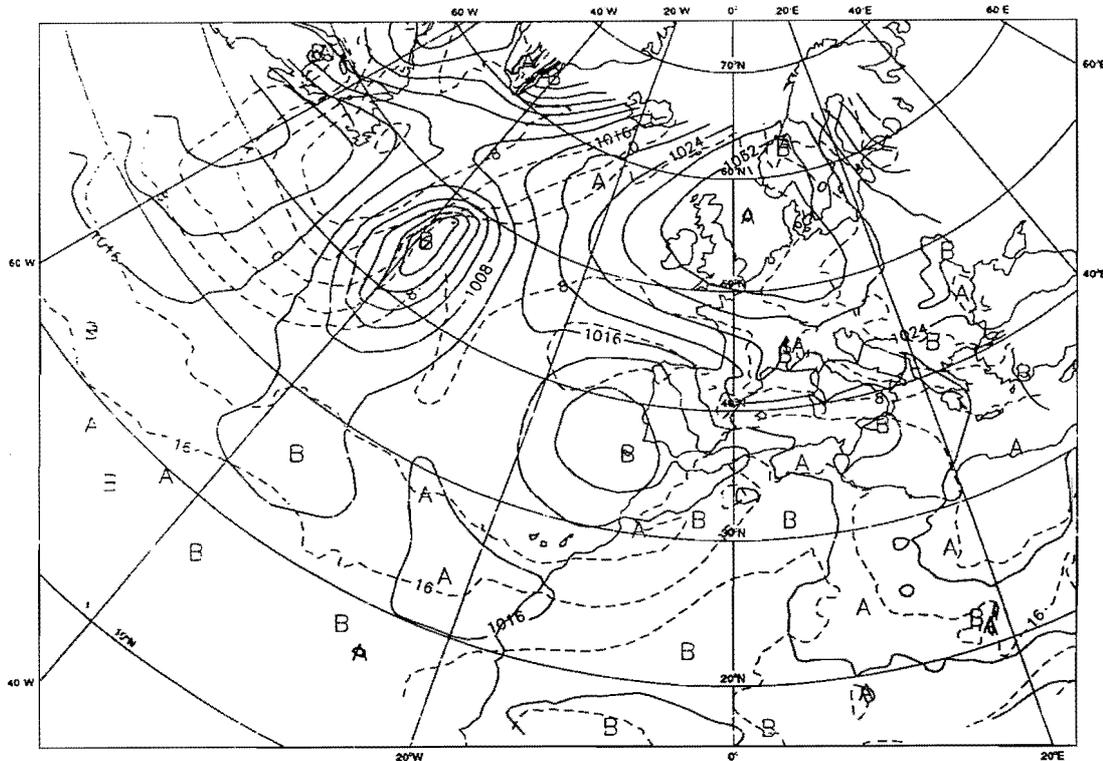


MAGICS 5.03 CRAY/rimbus - pnuima 10 April 1995 07:22:58 - COMPARACION



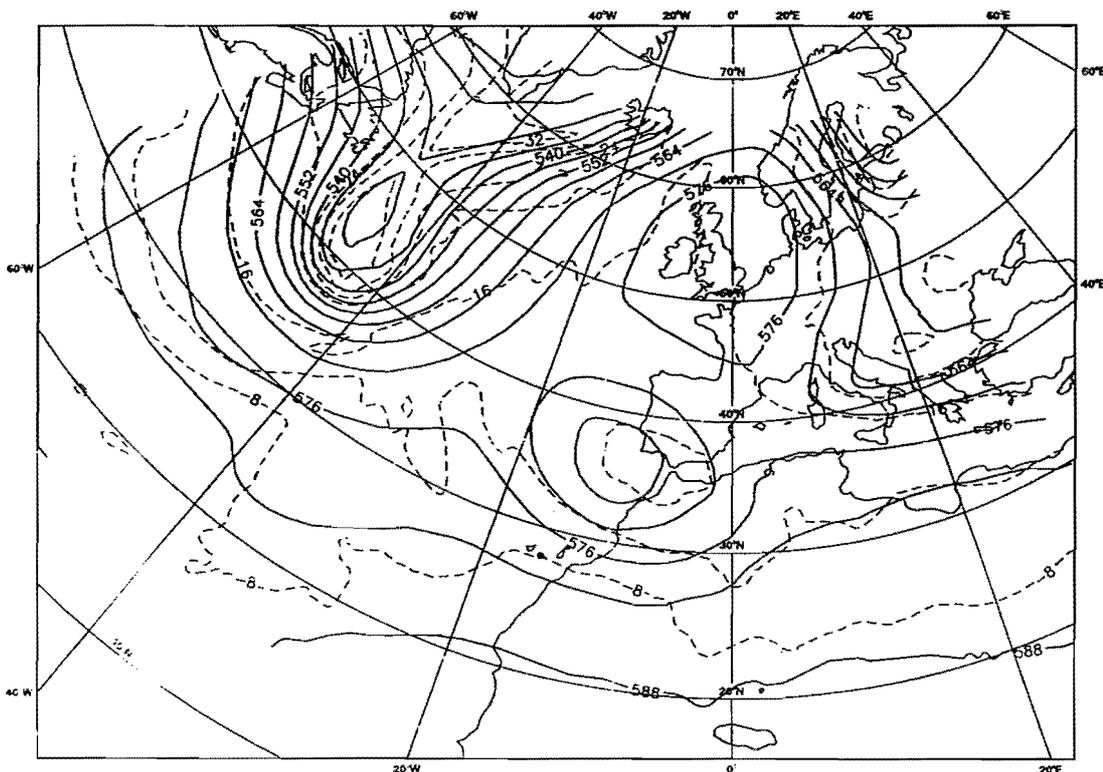
MAGICS 5.03 CRAY/rimbus - pnuima 18 April 1995 07:40:41 - COMPARACION

Figura 4.- Contenido de agua de nube de los experimentos GAN y BBB del alcance H + 24



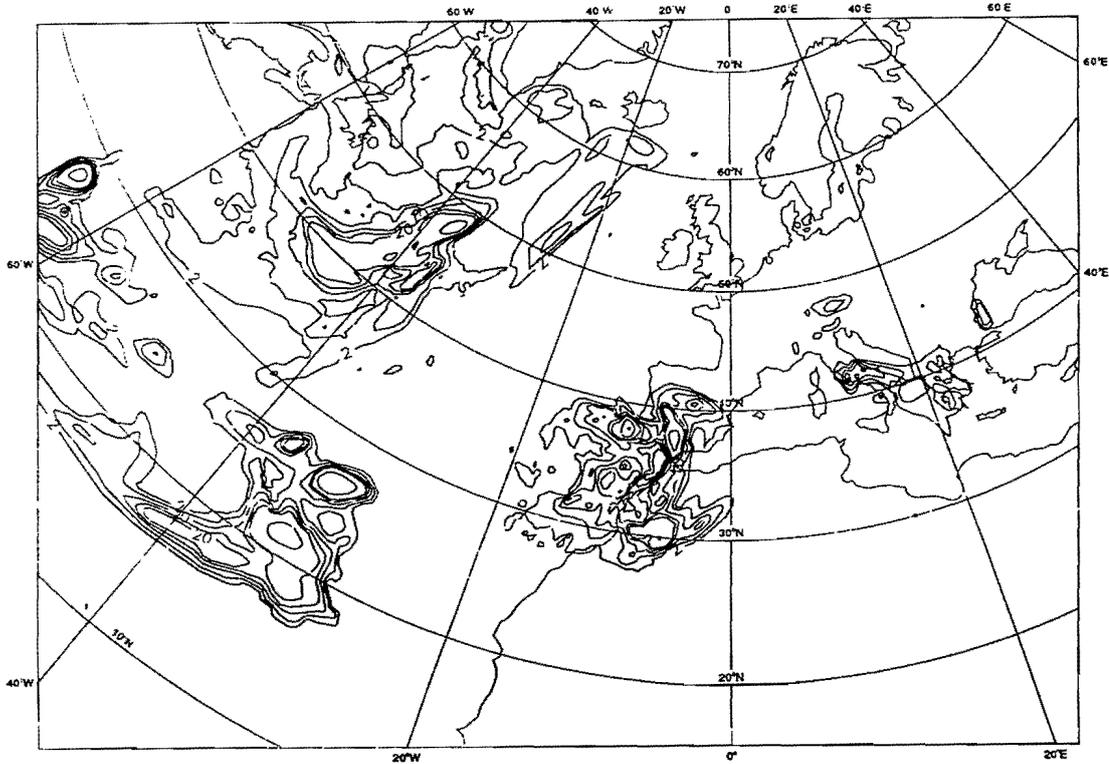
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuima 24 April 1995 07:47:03 - COMPARACION

HIRLAM/INM 500 hPa Geopotential Height and Temperature
Analysis 02/11/87 12 Z, H + 24 EXP:L45



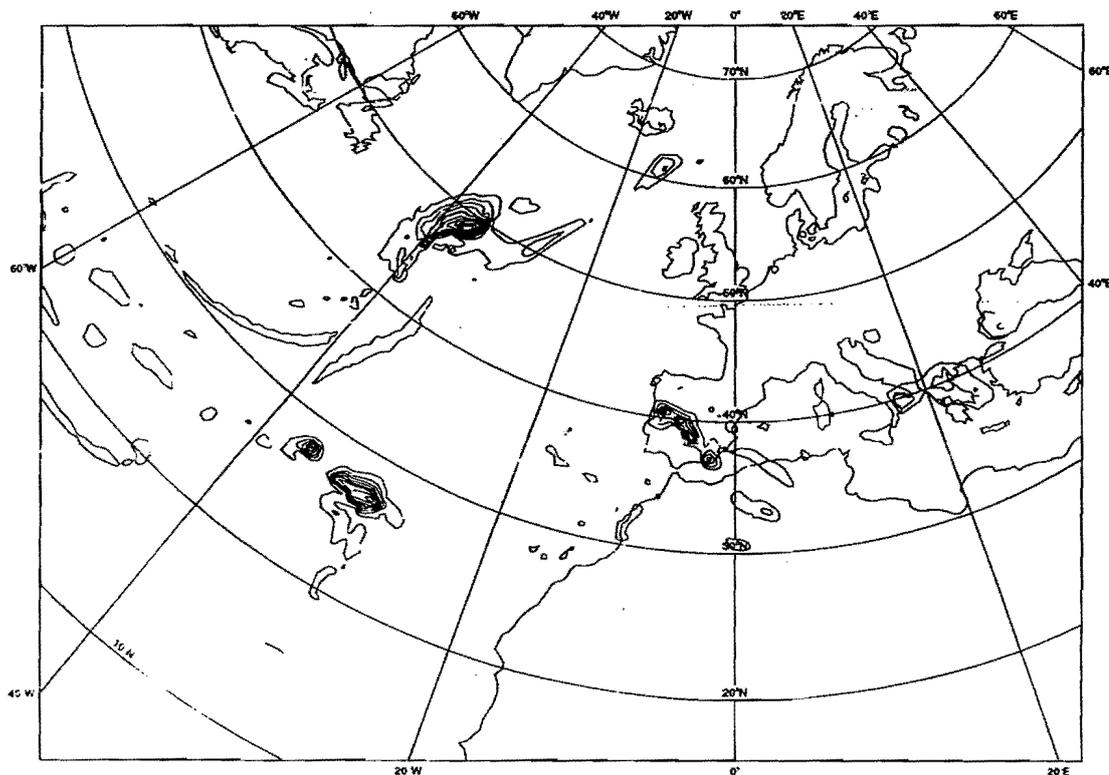
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuima 24 April 1995 07:47:12 - COMPARACION

Figura 5.- En la parte superior, temperatura en 850 mb y presión en superficie del experimento L45 del alcance H + 24. En la parte inferior, temperatura y geopotencial en 500 mb del experimento L45 y alcance H + 24



MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuima 24 April 1995 07:47:20 - COMPARACION

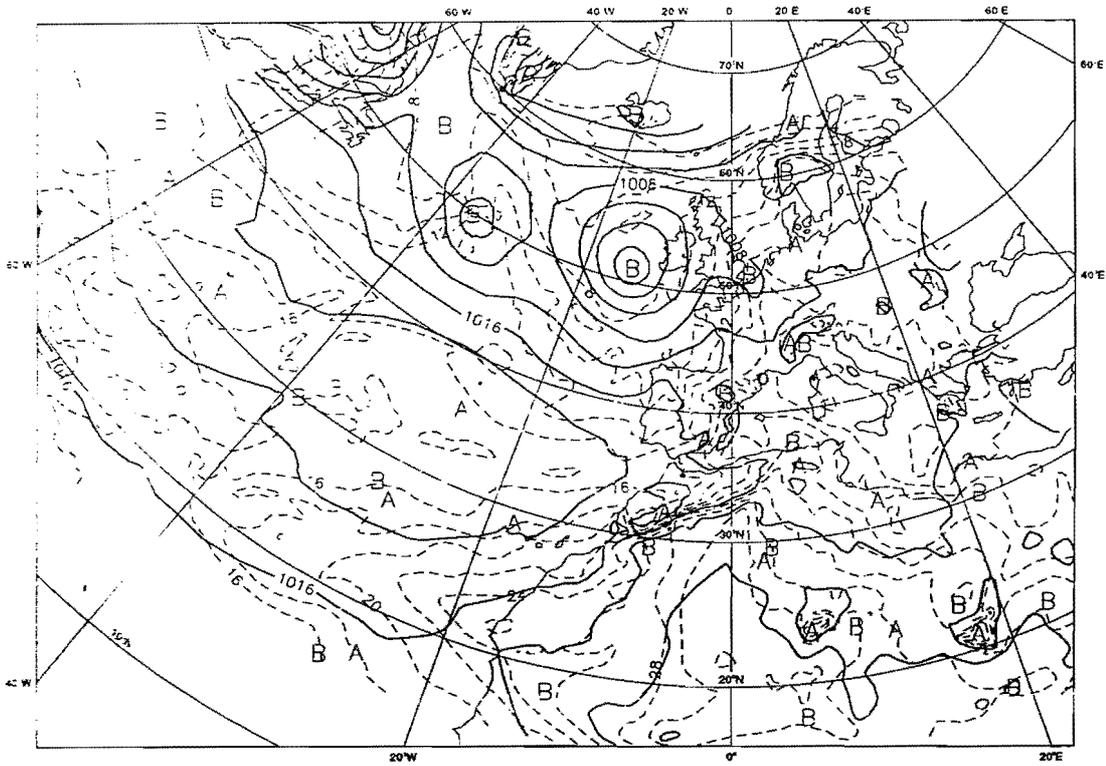
HIRLAM/NM VERTICAL INTEGRATED CLOUD WATER (int=.2)
Analysis 02/11/87 12 Z, H + 24 EXP:L45



MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnuima 24 April 1995 07:47:31 - COMPARACION

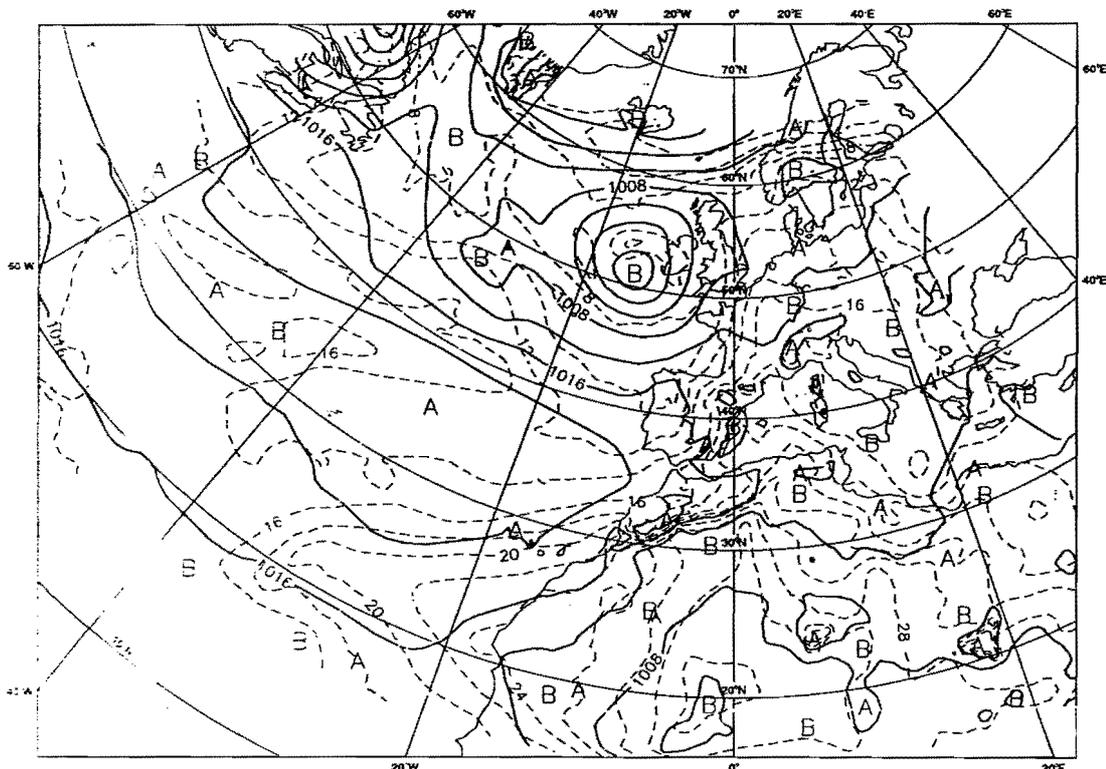
Figura 6.- En la parte superior, precipitación total del experimento L45 y para el alcance H + 24. En la parte inferior, contenido de agua de nube del mismo experimento y para el mismo alcance.

HIRLAM/INM m.s.l. Pressure and 850 hPa Temperature
Analysis 13/07/95 00 Z, H + 24 EXP:OPR



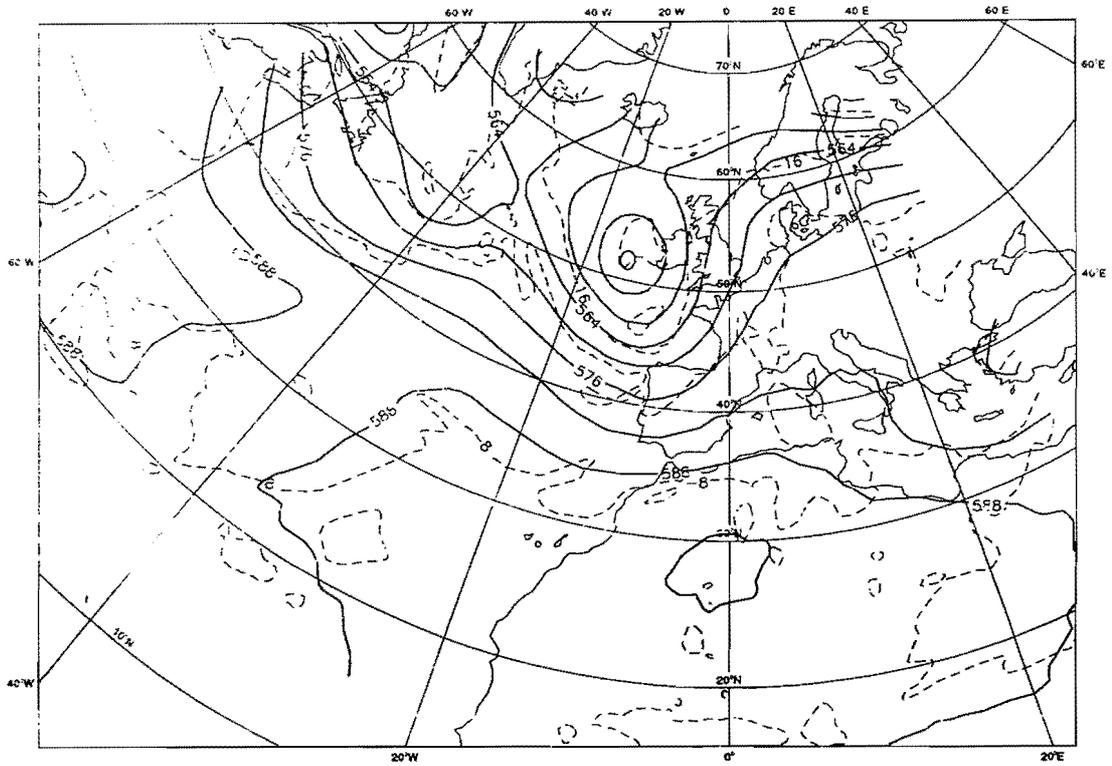
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - 0nh 13 July 1995 07:38:04 - COMPARACION

HIRLAM/INM m.s.l. Pressure and 850 hPa Temperature
Analysis 13/07/95 00 Z, H + 24 EXP:IHD

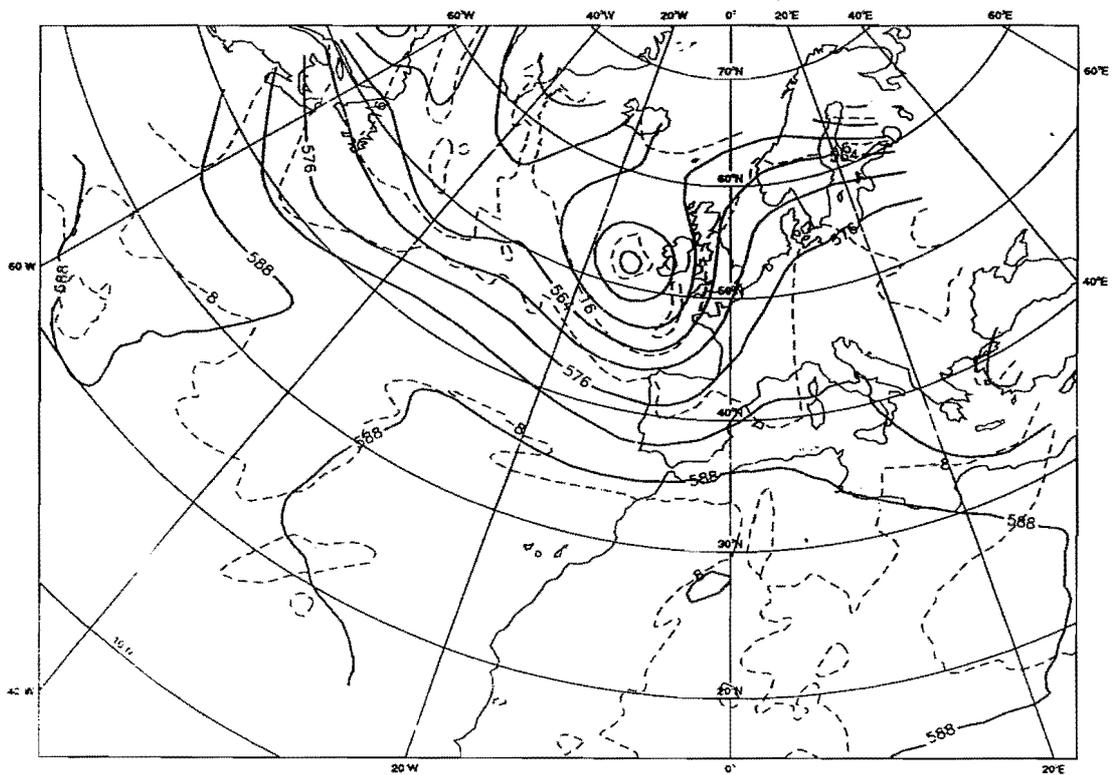


MAG CS 5.03 CRAY/nimbus - 0nh 13 July 1995 10:47:34 - COMPARACION

Figura 7.- Presión en superficie y temperatura en 850 mb de los experimentos OPR e IHD para el alcance H + 24

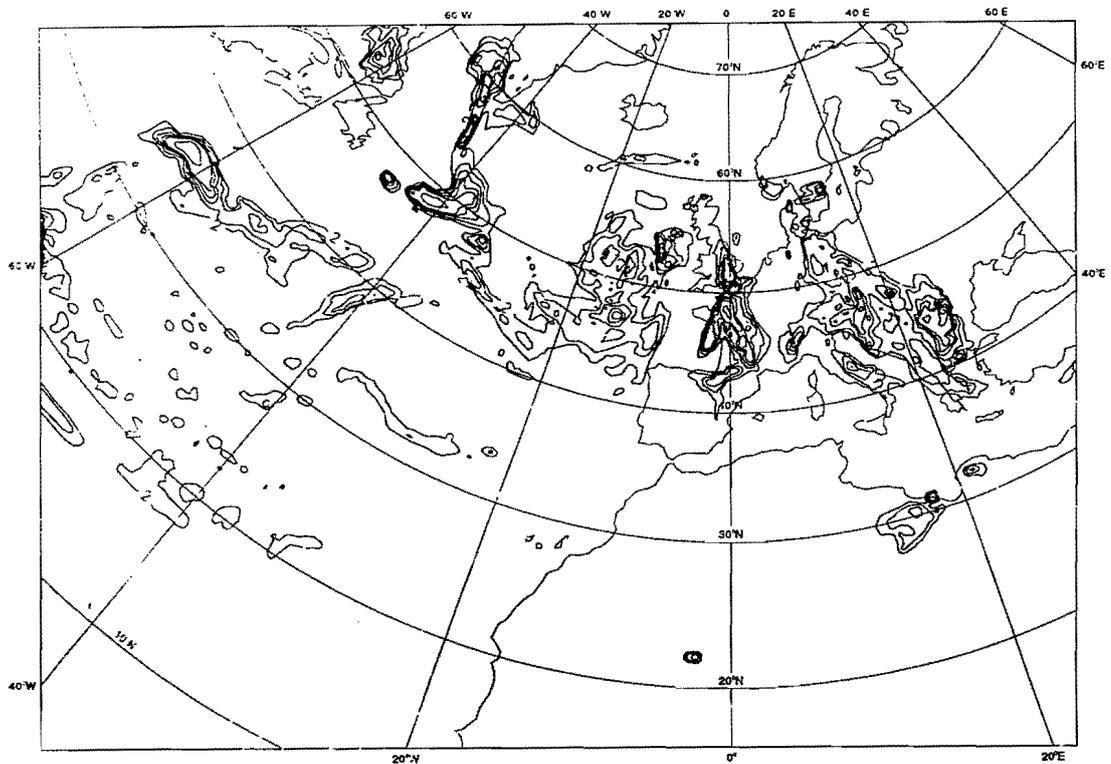


MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 13 July 1995 07:38:33 - COMPARACION

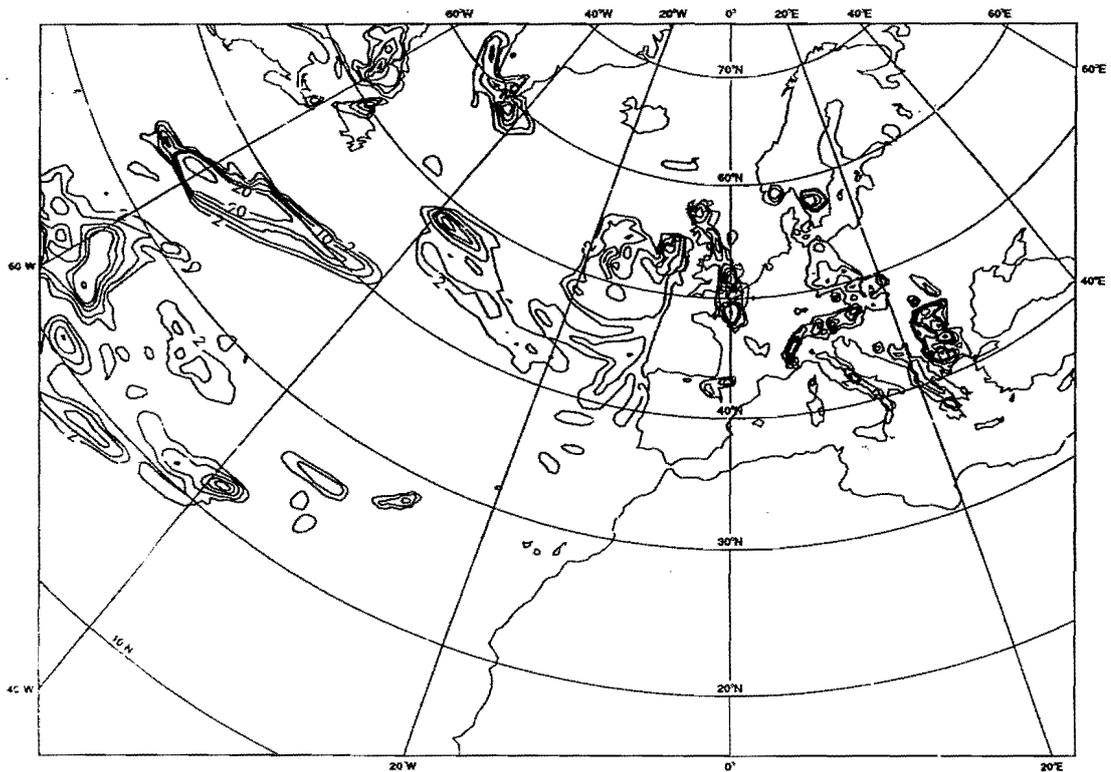


MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 13 July 1995 10:47:40 - COMPARACION

Figura 8.- Geopotencial y temperatura en 500 mb de los experimentos OPR e IHD para el alcance H + 24.



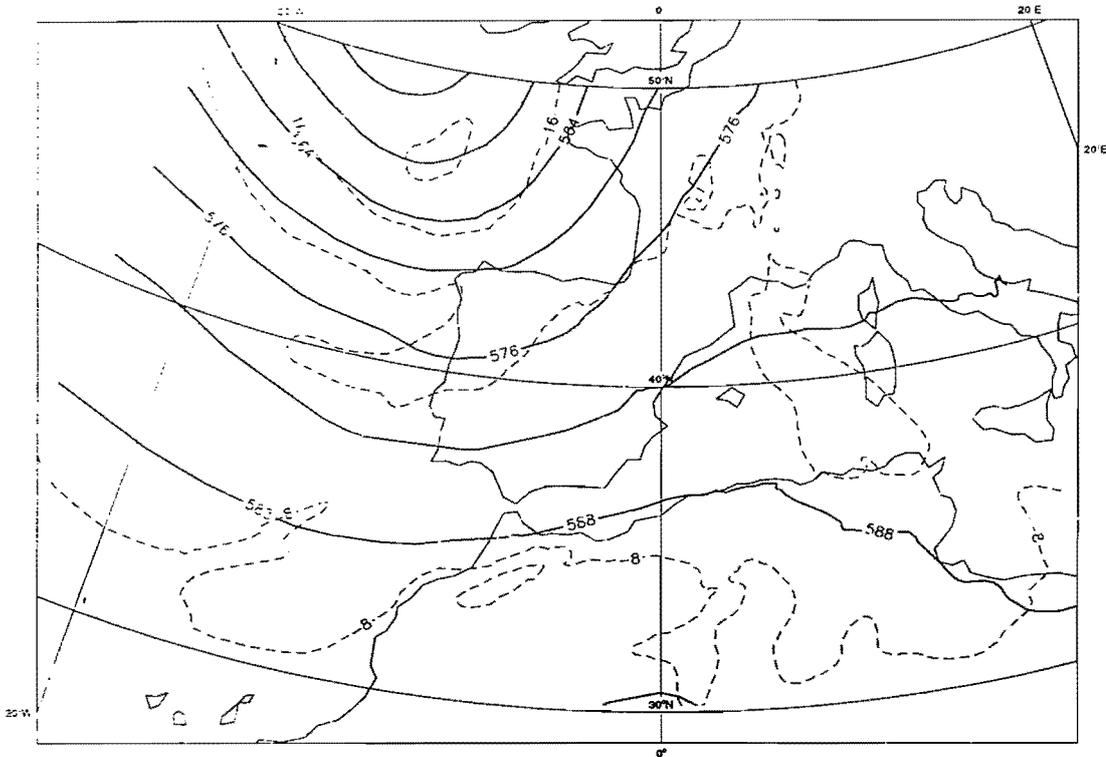
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 13 July 1995 07:38:46 - COMPARACION



MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 13 July 1995 10:47:46 - COMPARACION

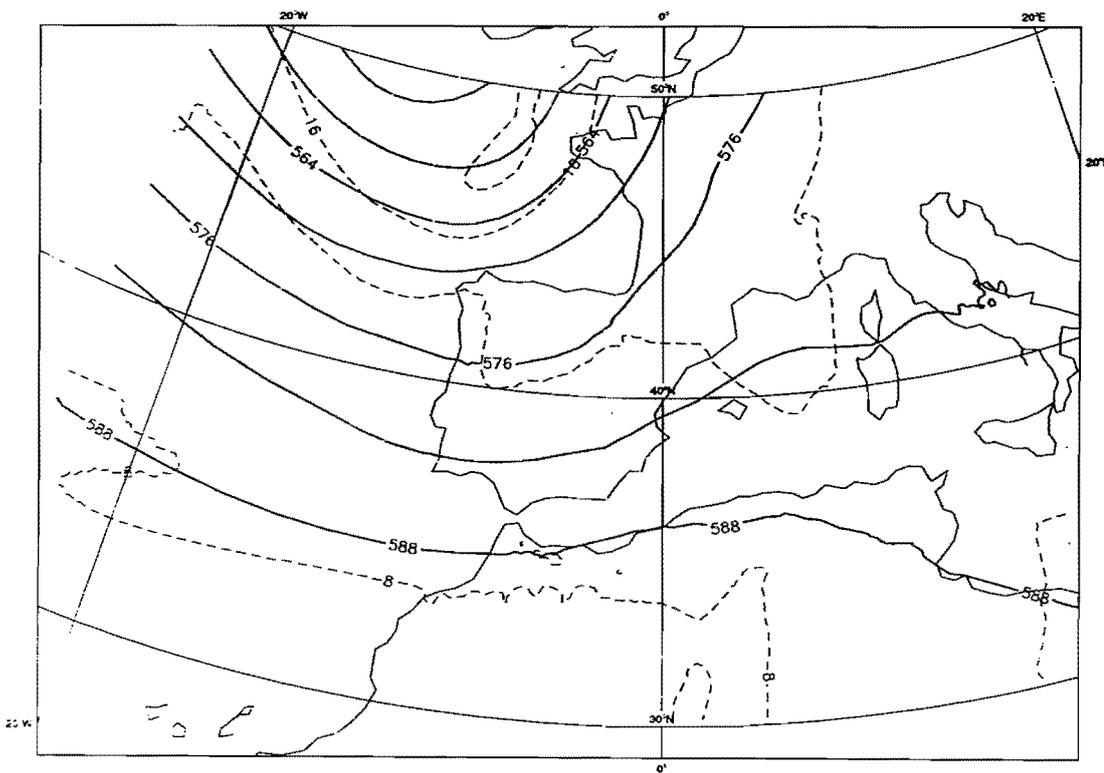


Figura 9.- Precipitación total de los experimentos OPR e IHD para el alcance H + 24.



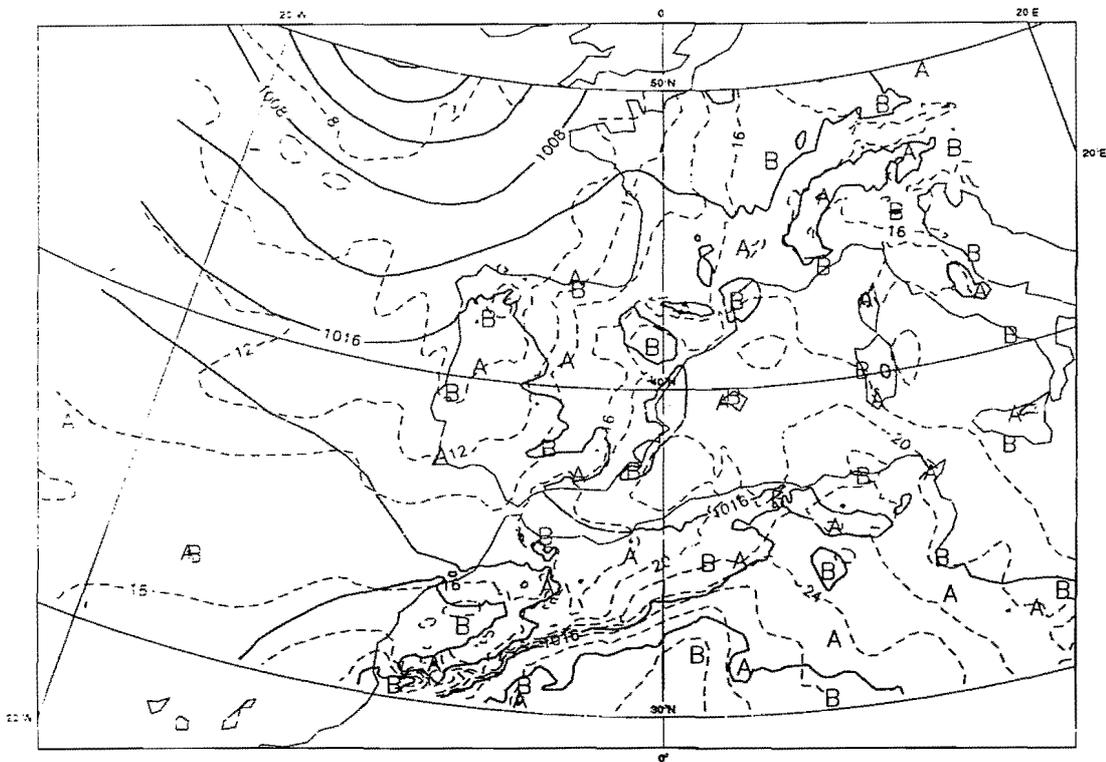
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - prh 13 July 1995 07:46:19 - COMPARACION

HIRLAM/INM 500 hPa Geopotential Height and Temperature
Analysis 13/07/95 00 Z, H + 24 EXP:IHD

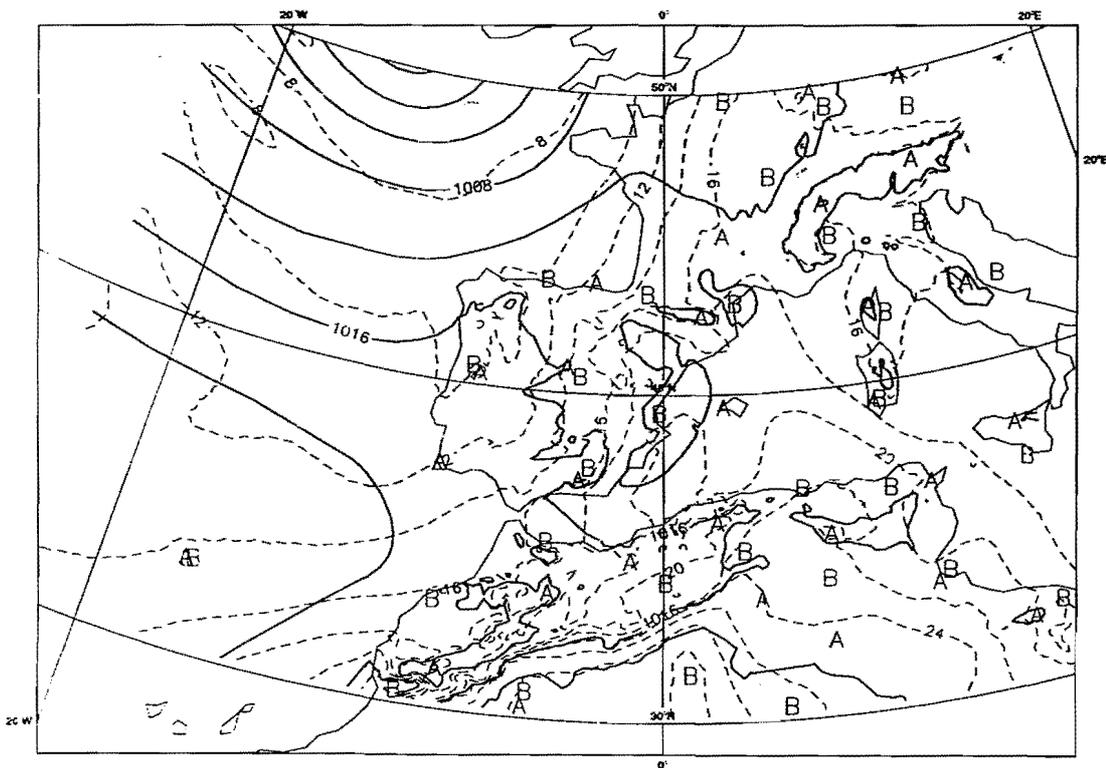


MAG CS 5.03 CRAY/nimbus - prh 14 July 1995 07:09:07 - COMPARACION

Figura 11.- Geopotencial y temperatura en 500 mb de los experimentos HIR e IHD para el alcance H + 24.

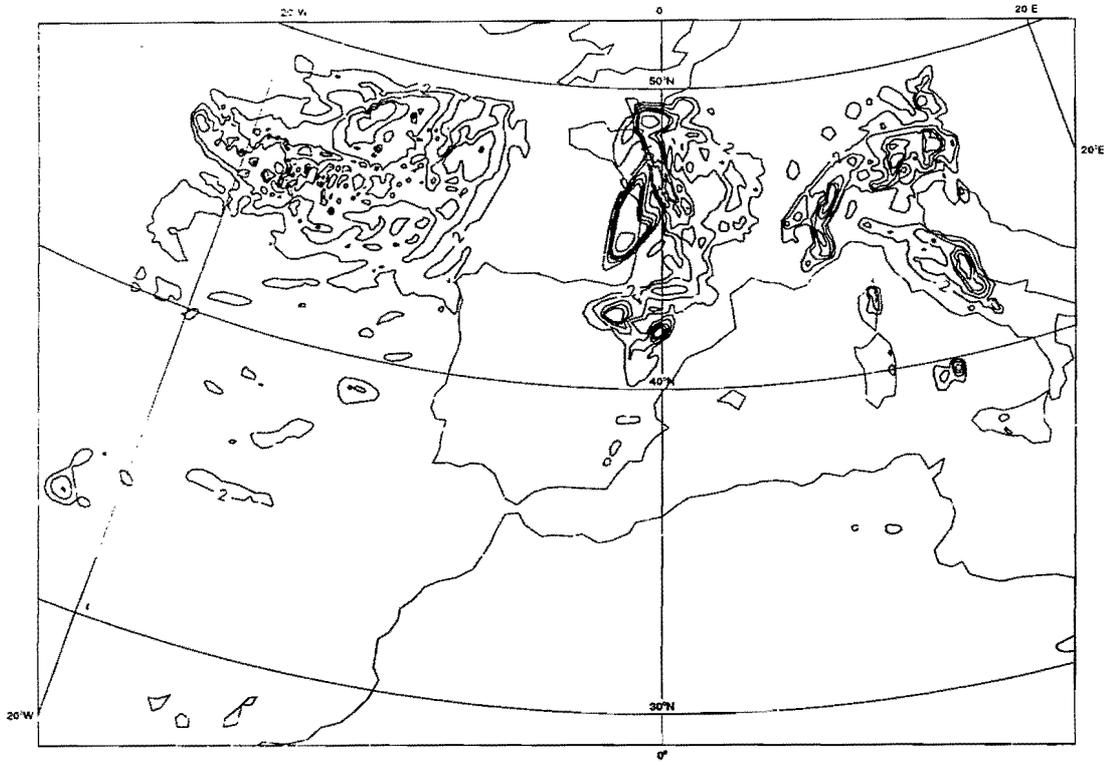


MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 13 July 1995 07:46:15 - COMPARACION



MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 14 July 1995 07:09:03 - COMPARACION

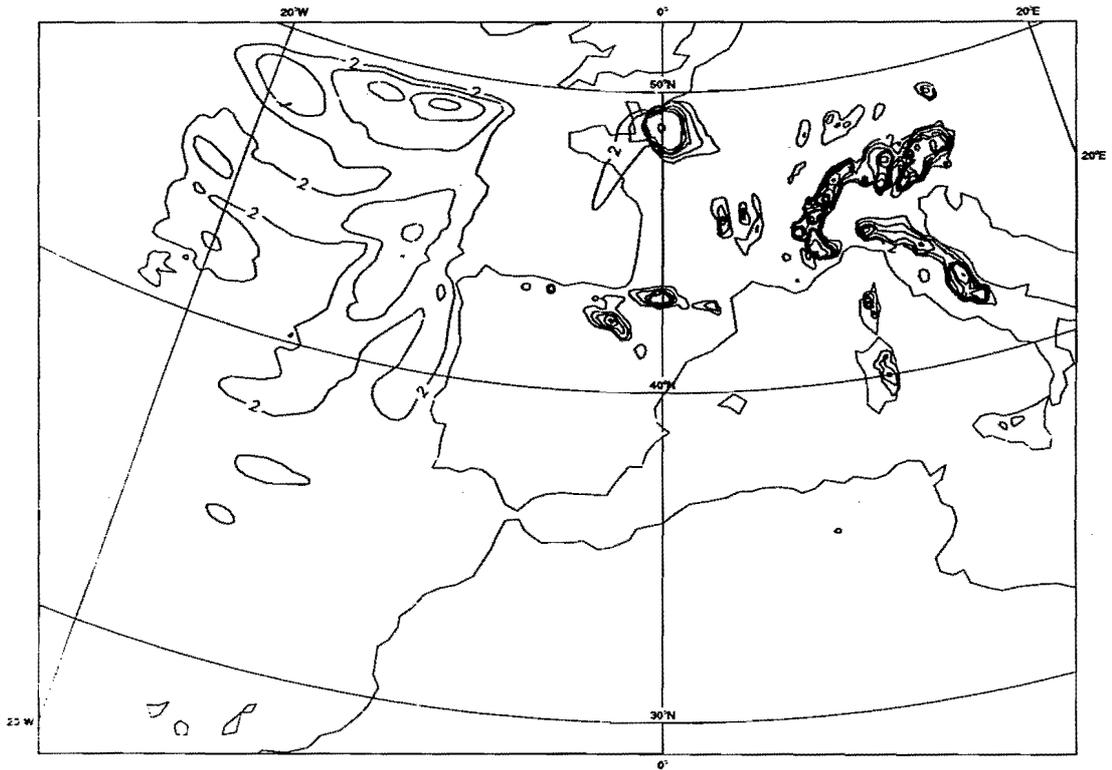
Figura 10.- Presión en superficie y temperatura en 850 mb de los experimentos HIR e IHD para el alcance H + 24.



MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 13 July 1995 07:46:26 - COMPARACION

8

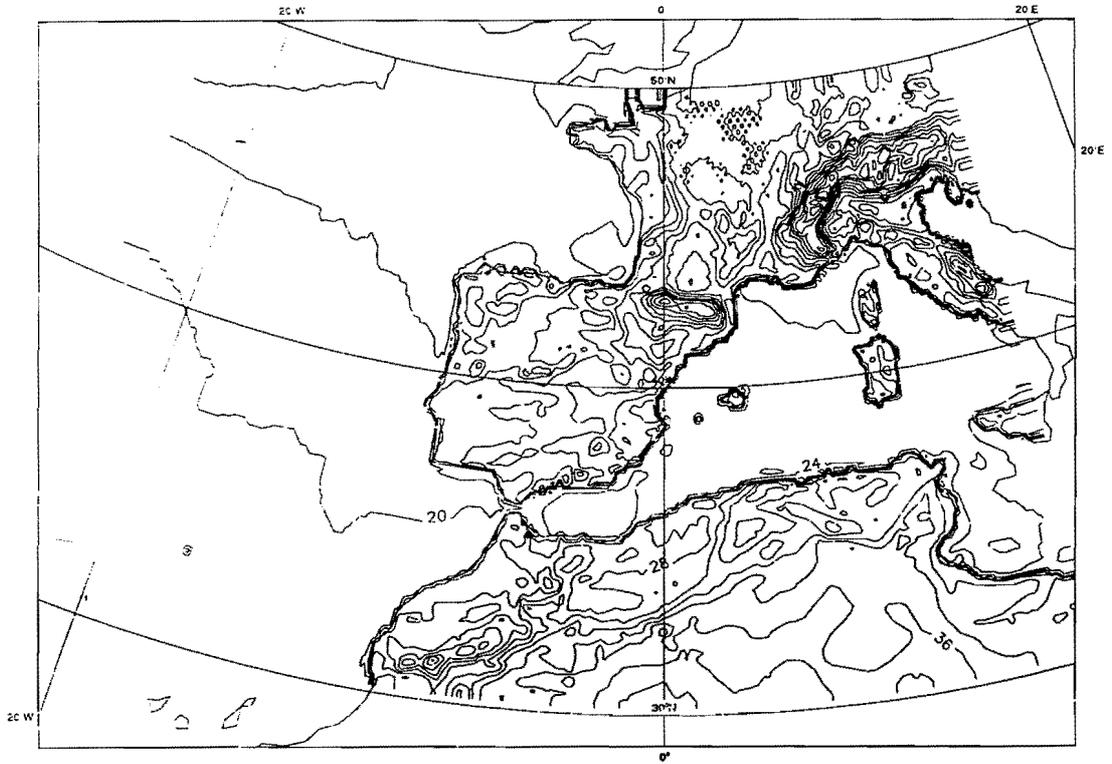
HIRLAM/INM Conv.+ Large Sc. Precip.(2, 5, 10, 15, 20, 40, 80, 120, 150 mm)
Analysis 13/07/95 00 Z, H + 24 EXP:IHD



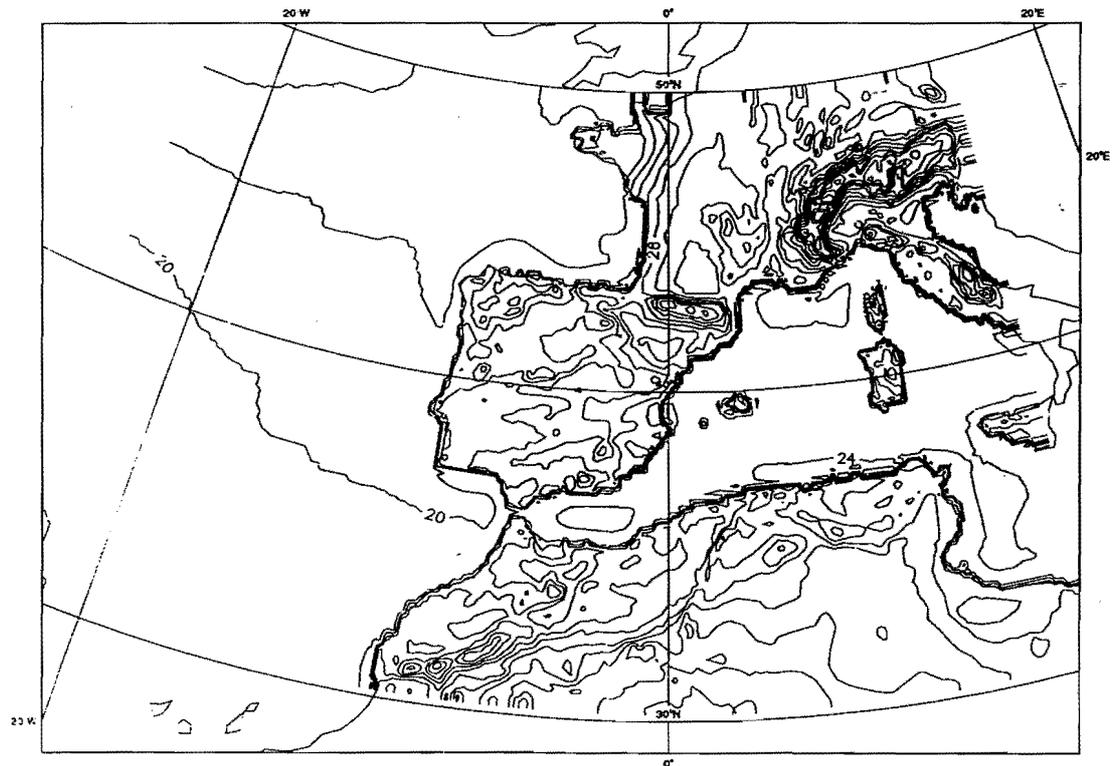
MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 14 July 1995 07:09:12 - COMPARACION

8

Figura 12.- Precipitación total de los experimentos HIR e IHD para el alcance H + 24.



MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 13 July 1995 07:45:48 - COMPARACION



MAGICS 5.03 CRAY/nimbus - pnh 14 July 1995 07:08:40 - COMPARACION

Figura 13.- Temperatura a 2 m. de los experimentos HIR e IHD para el alcance H + 12.

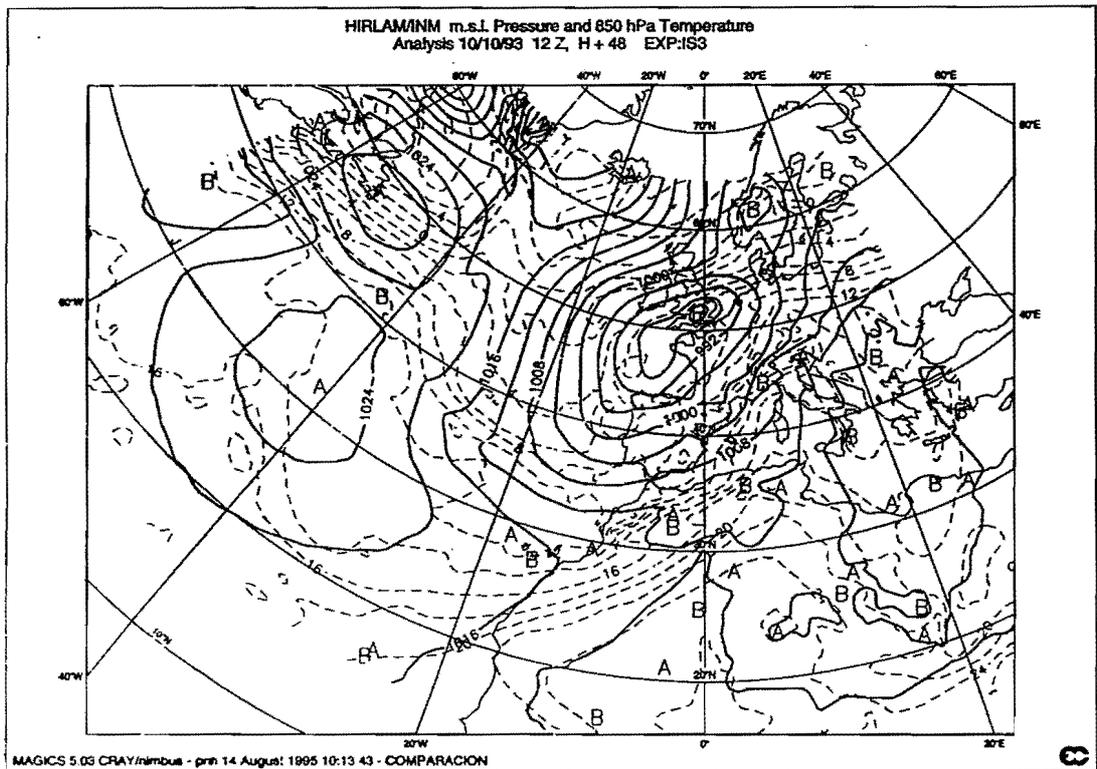
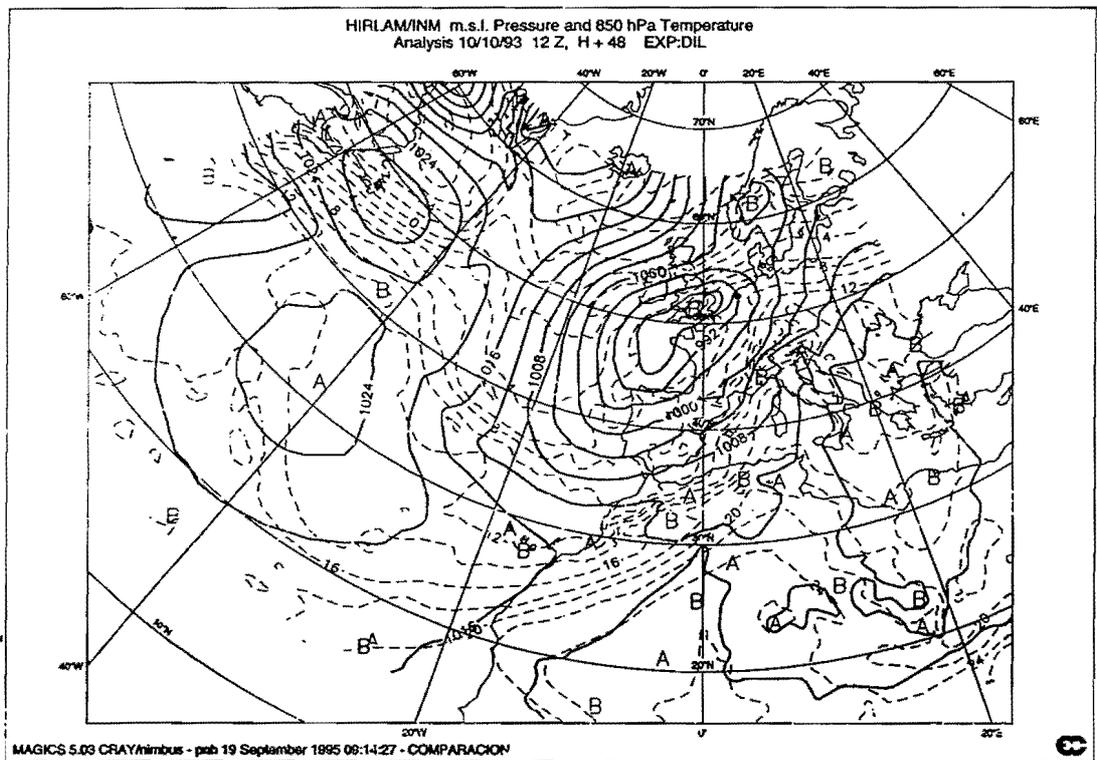


Figura 15.- Presión en superficie y temperatura en 850 mb de los experimentos DIL e IS3 para el alcance H + 48.

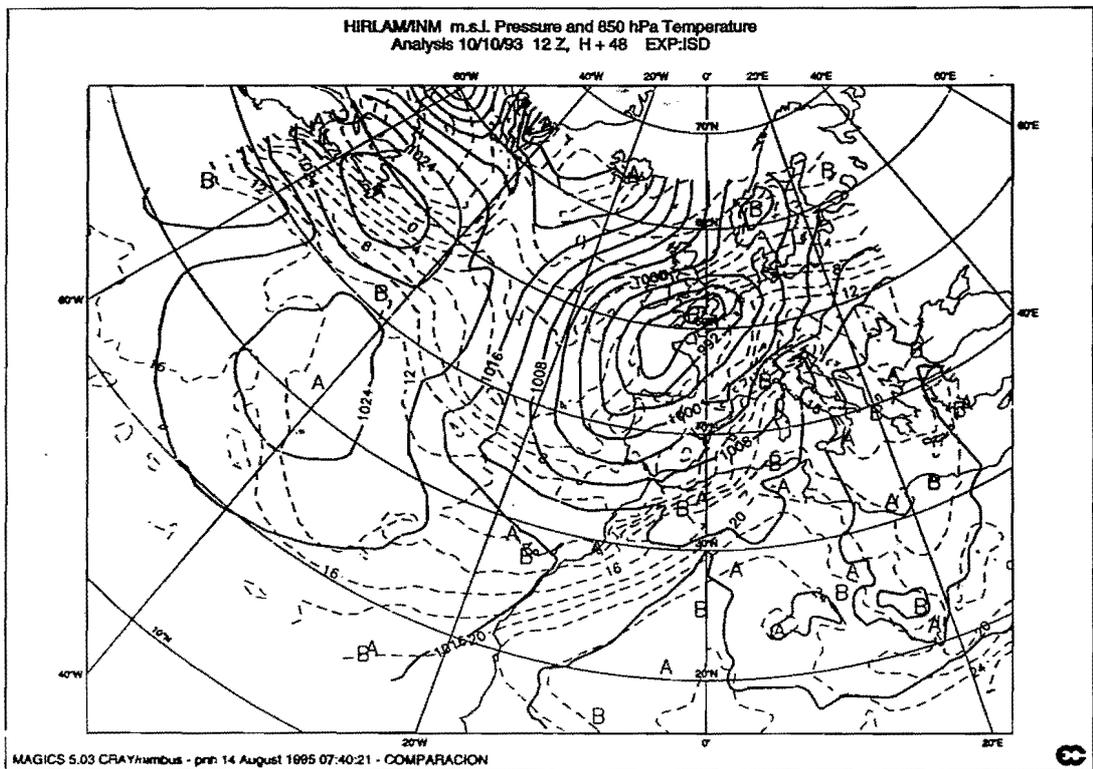
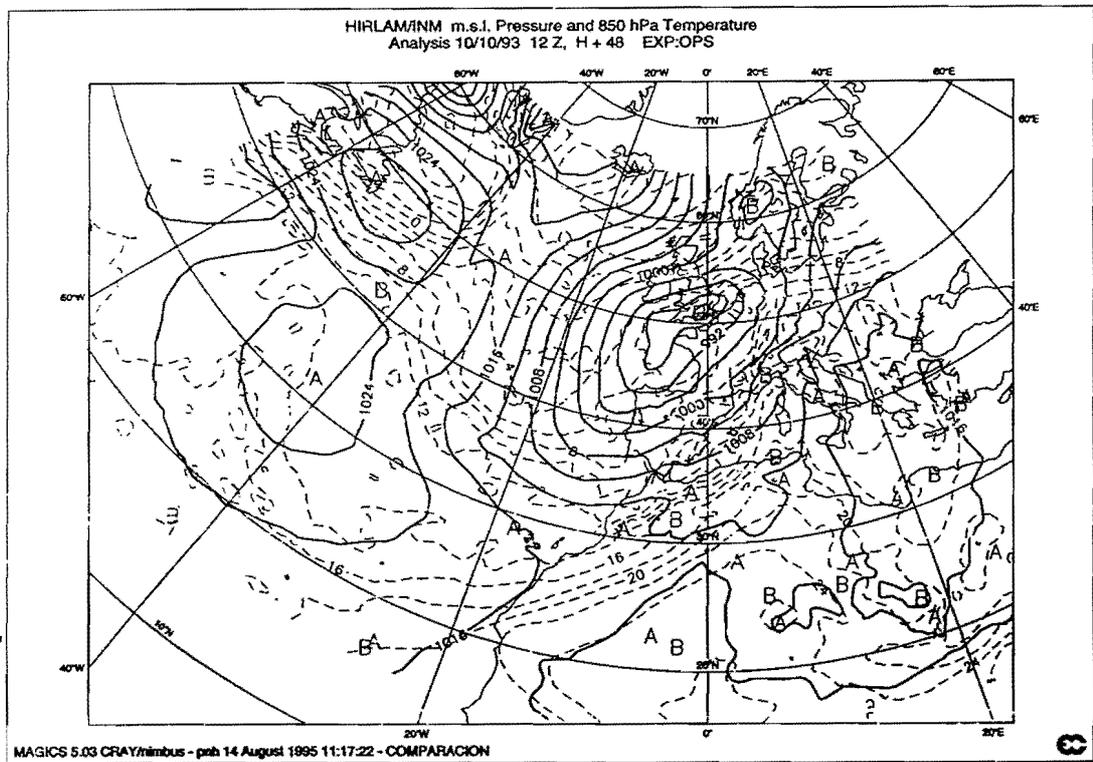


Figura 14.- Presión en superficie y temperatura en 850 mb de los experimentos OPS e ISD para el alcance H + 48.

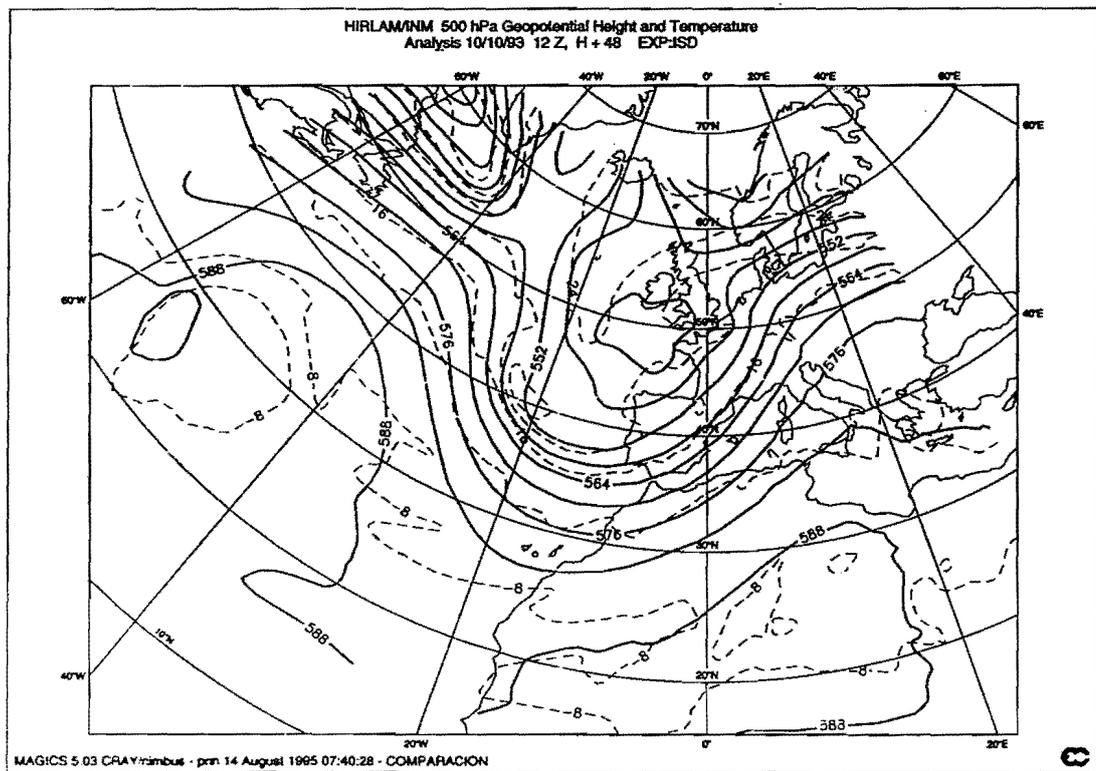
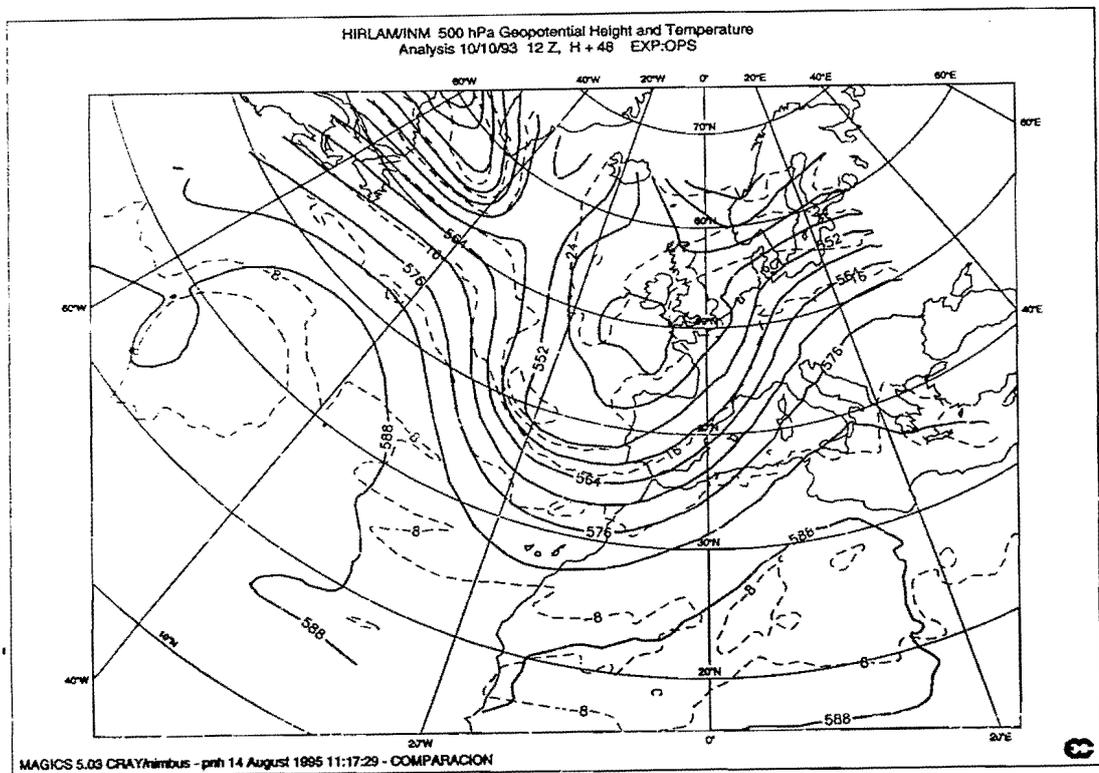


Figura 16.- Geopotencial y temperatura en 500 mb de los experimentos OPS e ISD para el alcance H + 48.

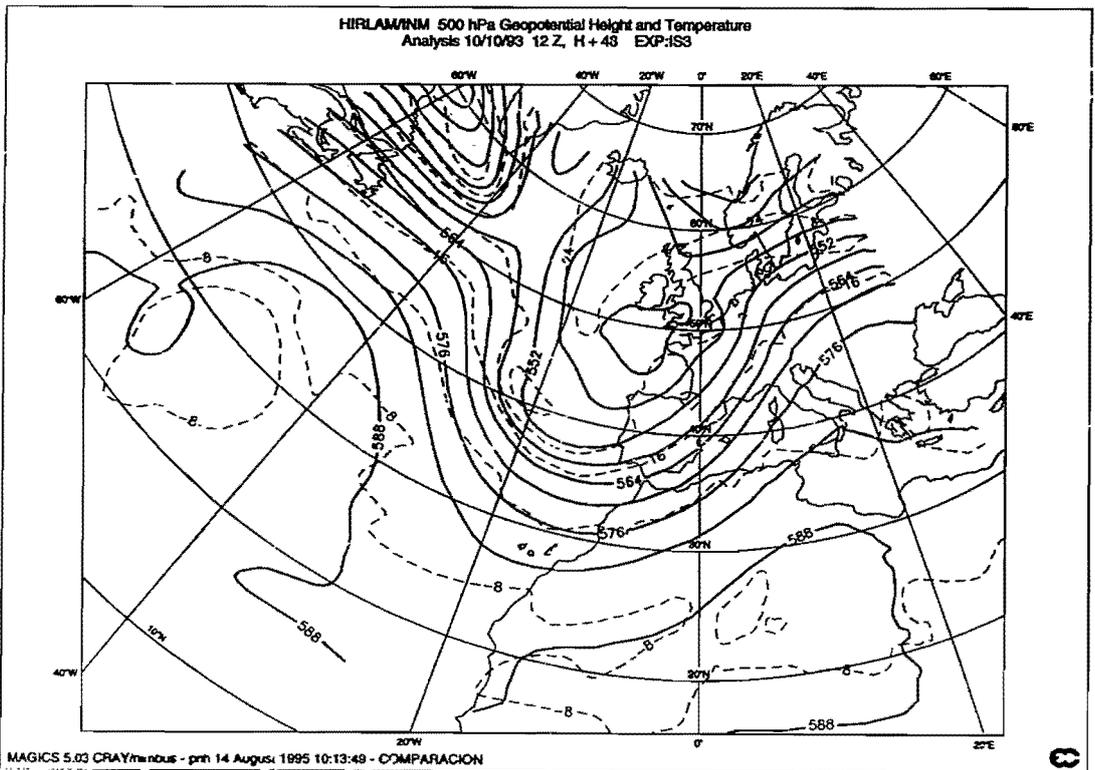
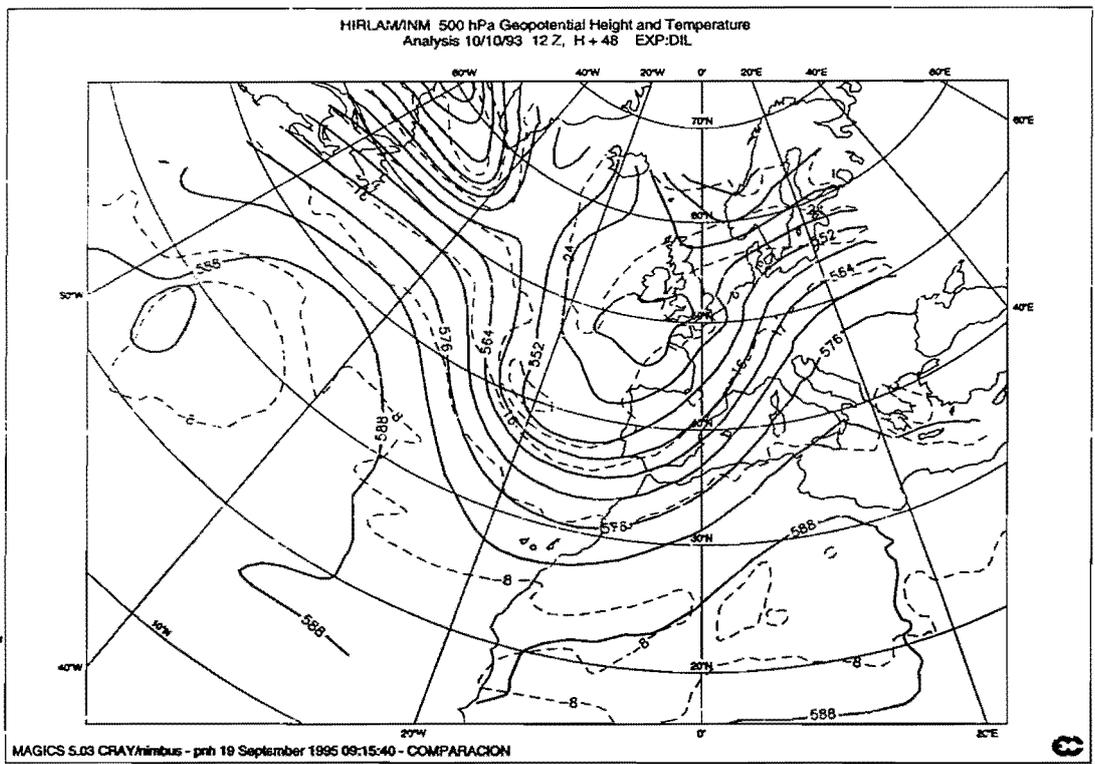


Figura 17.- Geopotencial y temperatura en 500 mb de los experimentos DIL e IS3 para el alcance H + 48.

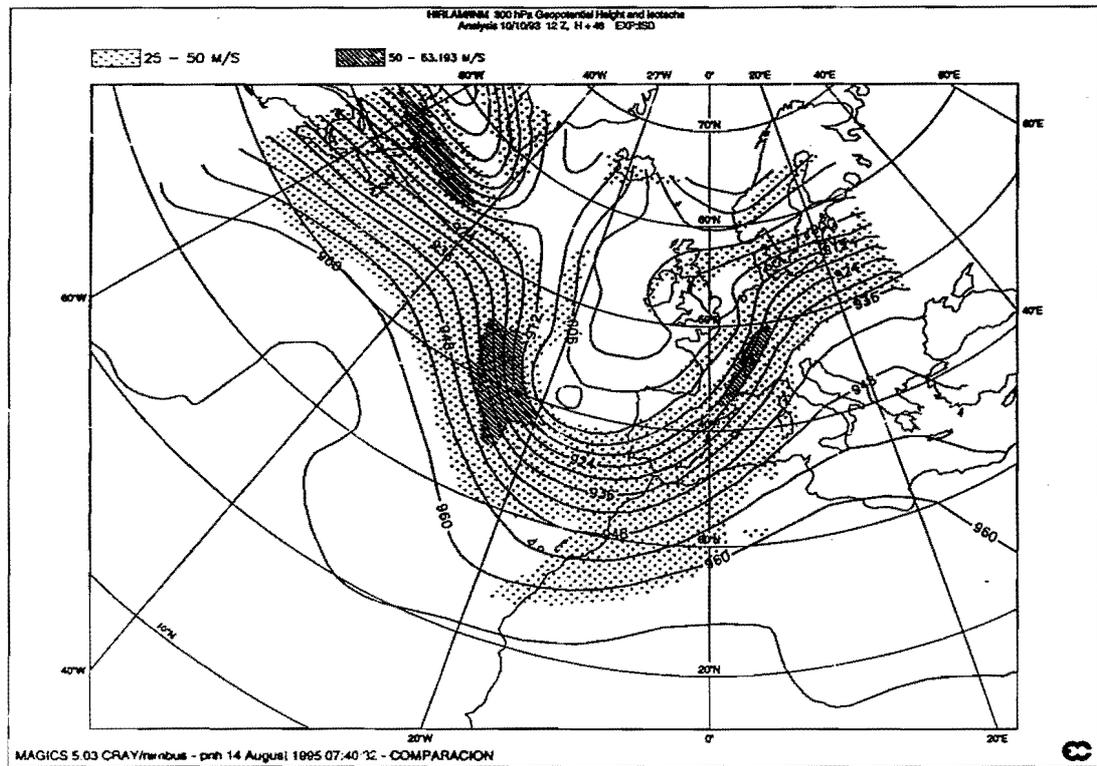
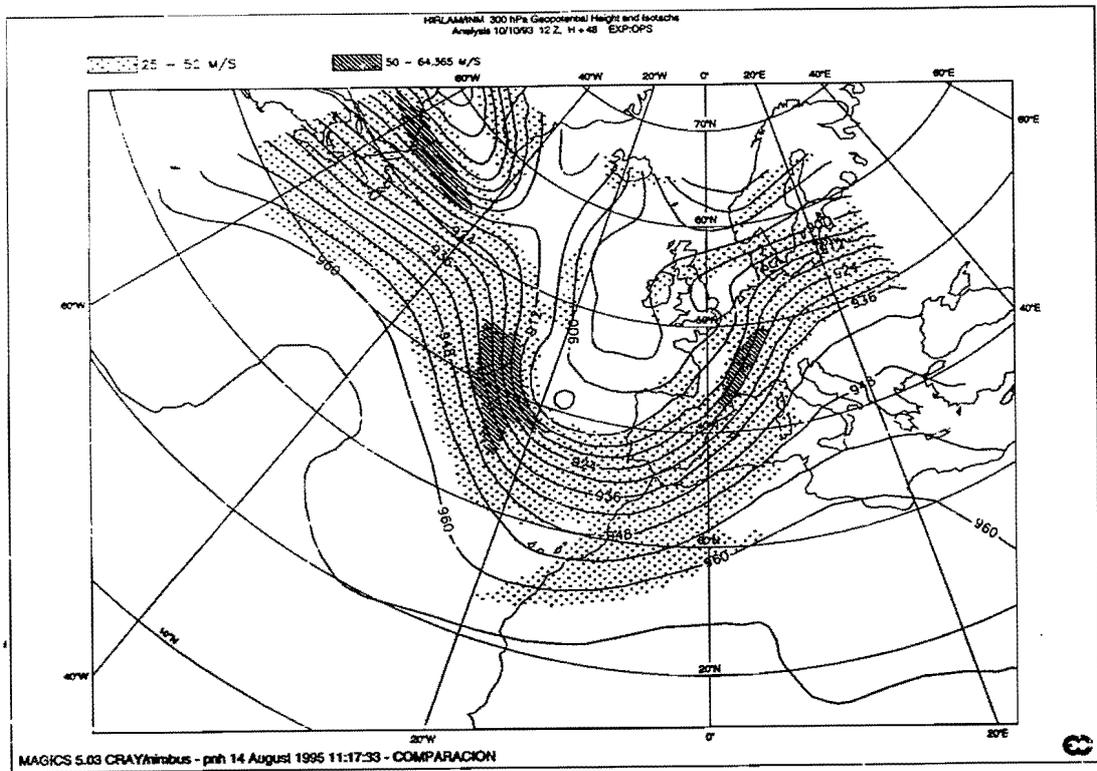


Figura 18.- Geopotencial e isotacas en 300 mb de los experimentos OPS e ISD para el alcance H+48.

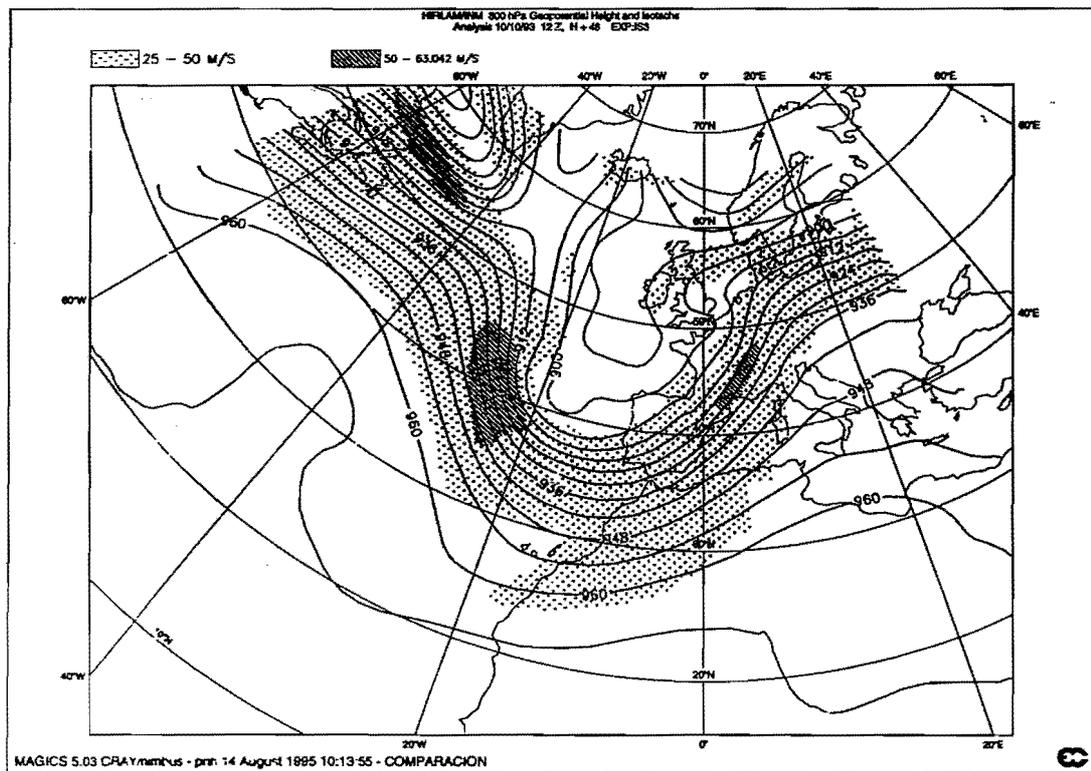
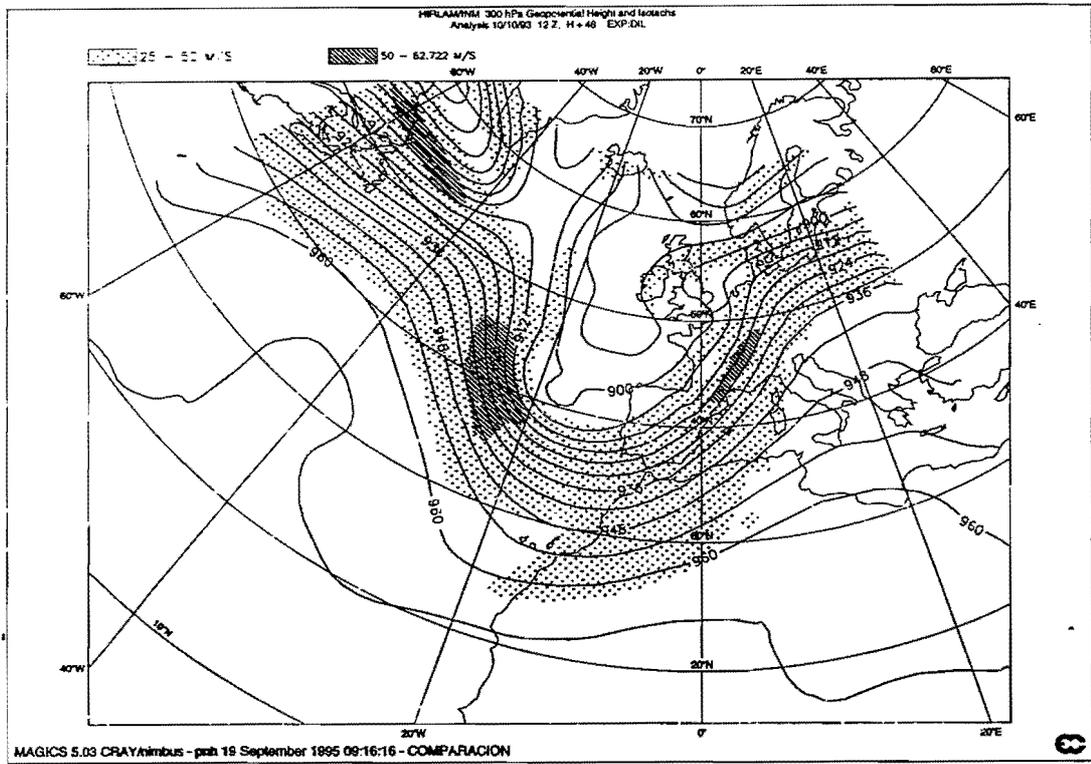


Figura 19.- Geopotencial e isotacas en 300 mb de los experimentos DIL e IS3 para el alcance H + 48.

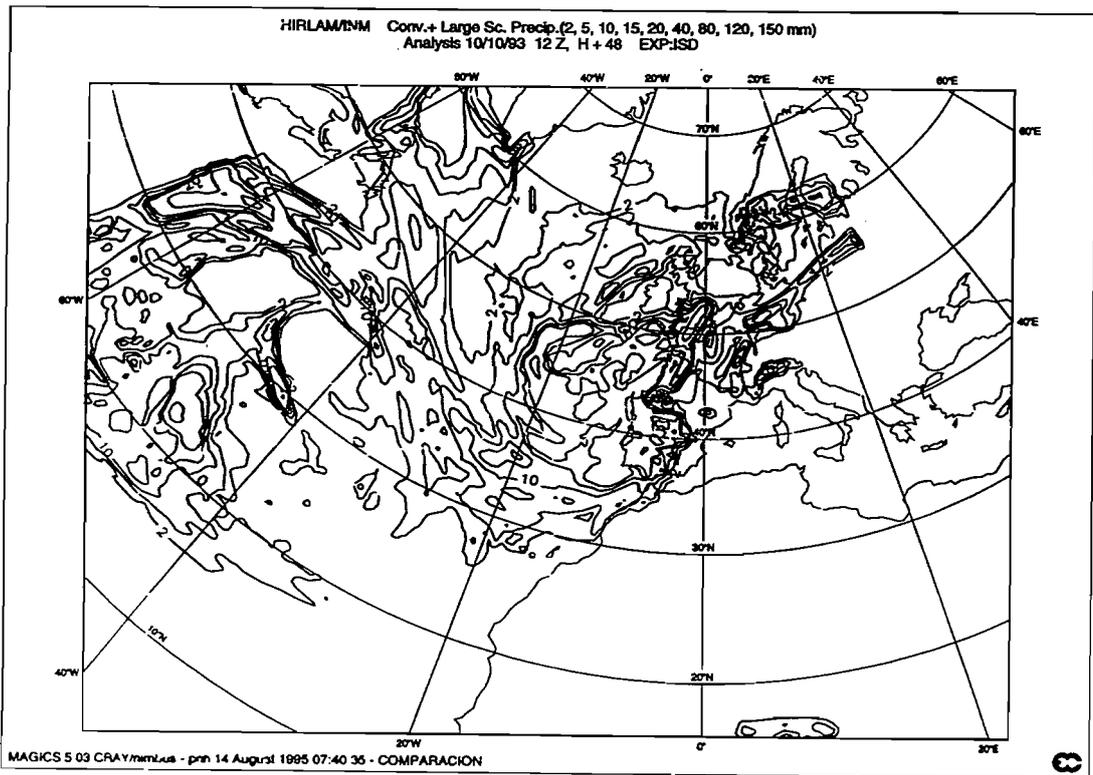
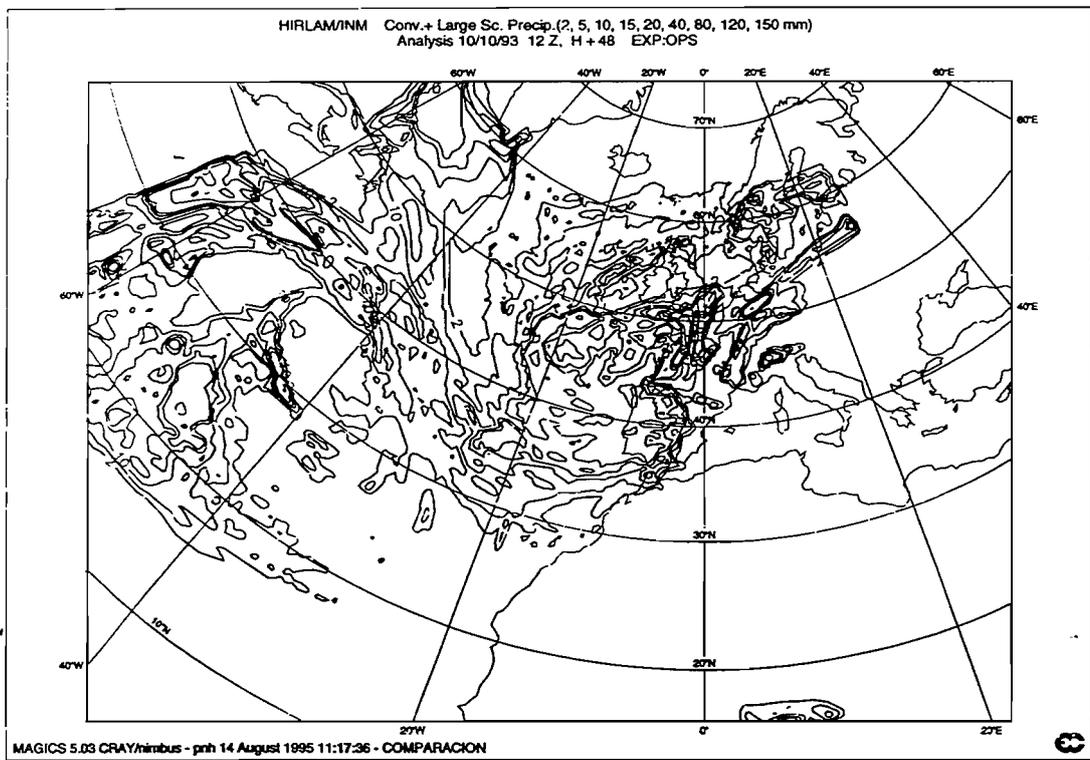


Figura 20.- Precipitación total de los experimentos OPS e ISD para el alcance H + 48.

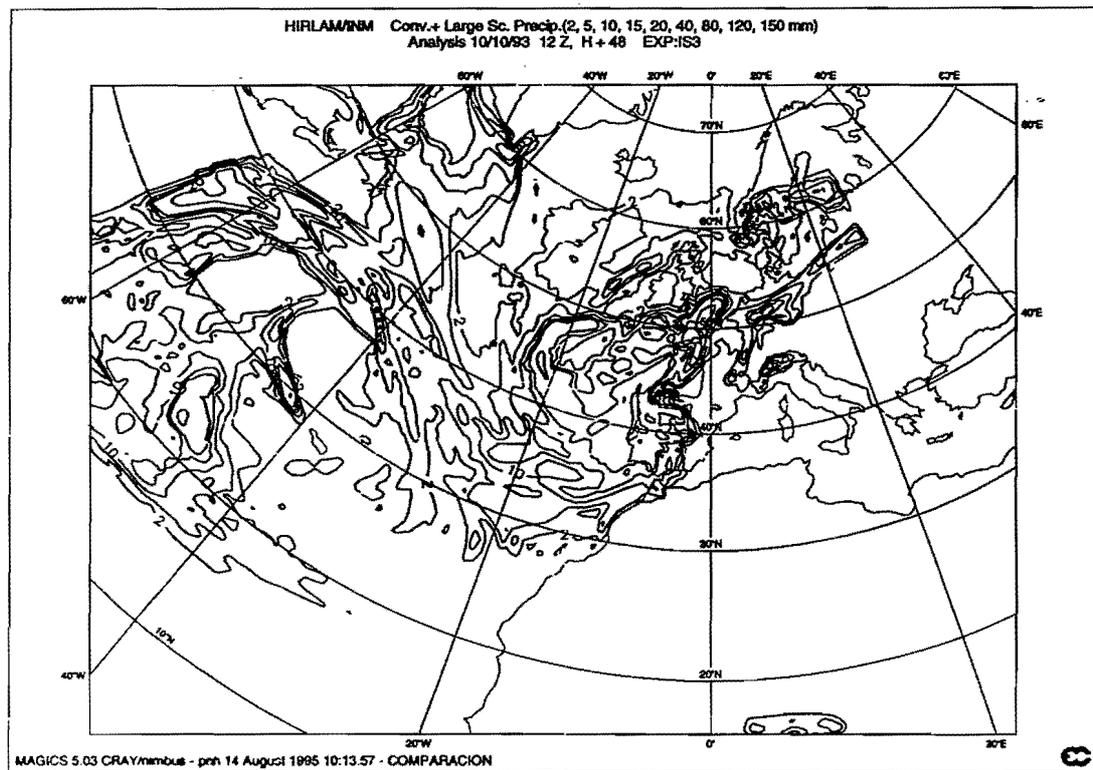
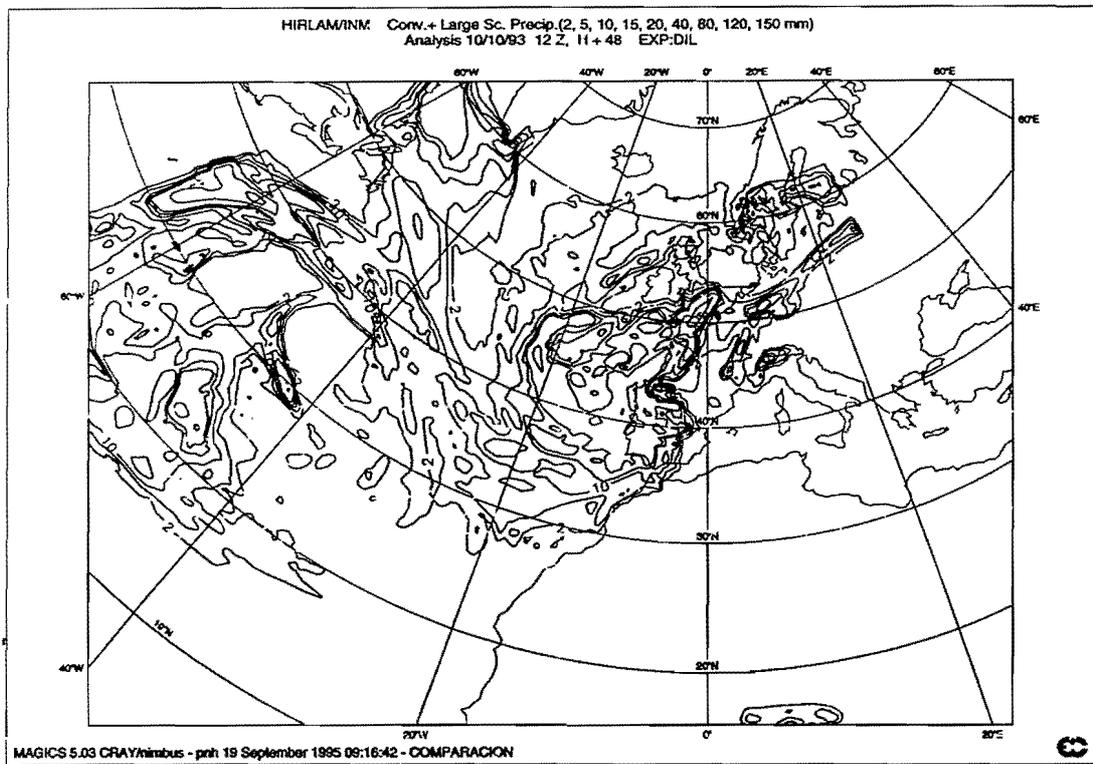


Figura 21.- Precipitación total de los experimentos DIL e IS3 para el alcance H + 48.

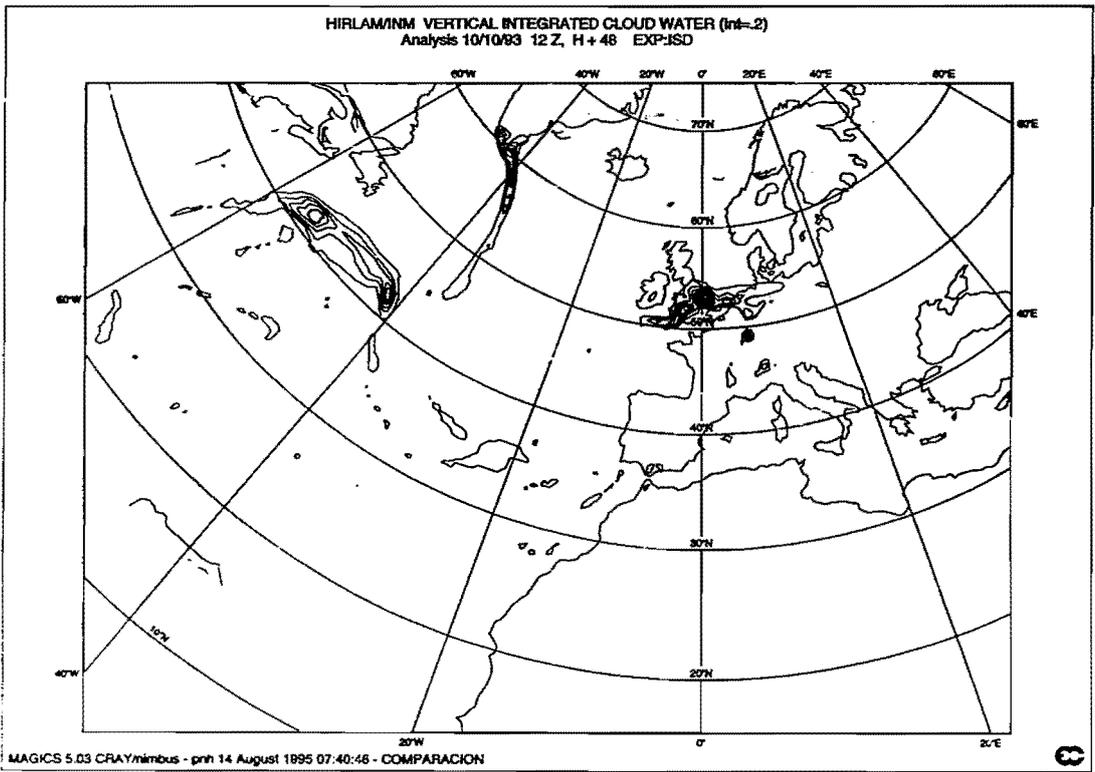
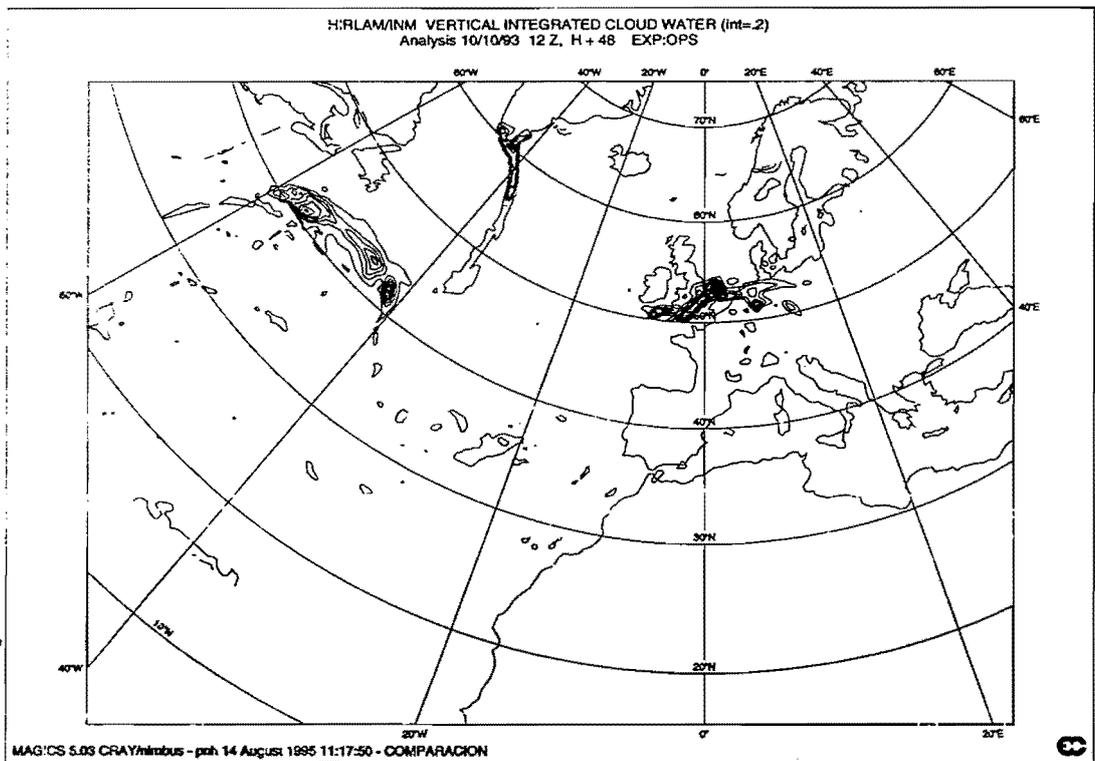


Figura 22.- Contenido de agua de nube de los experimentos OPS e ISD para el alcance H + 48.

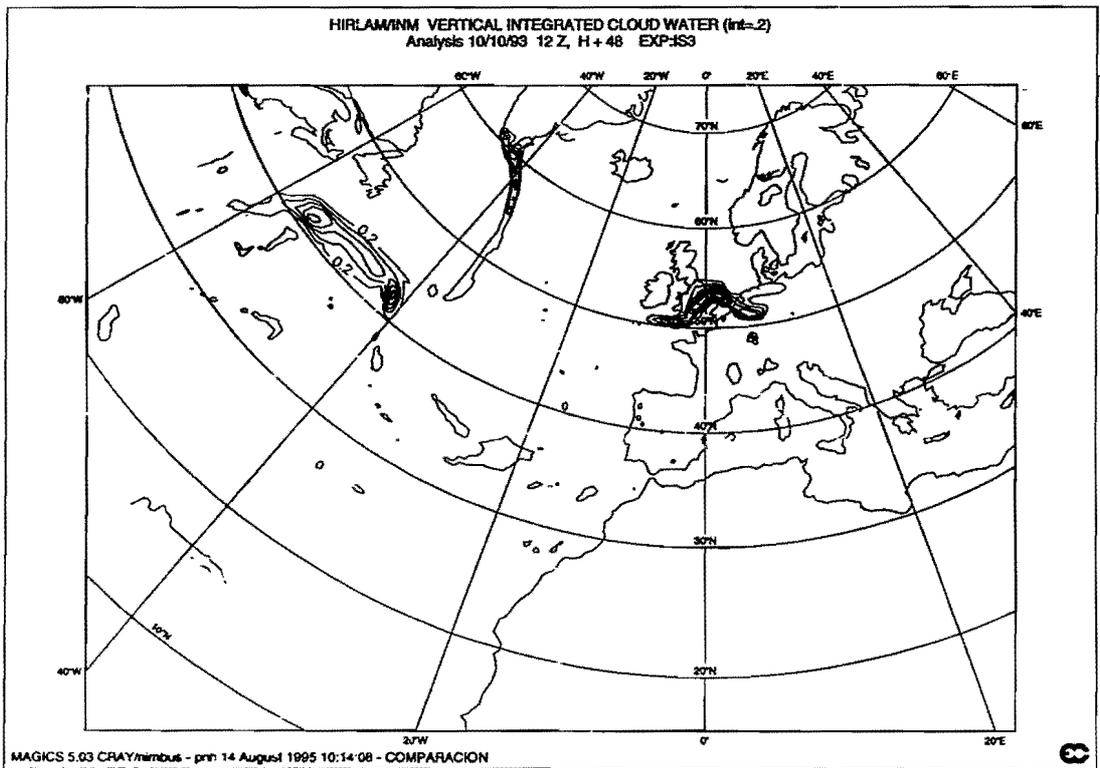
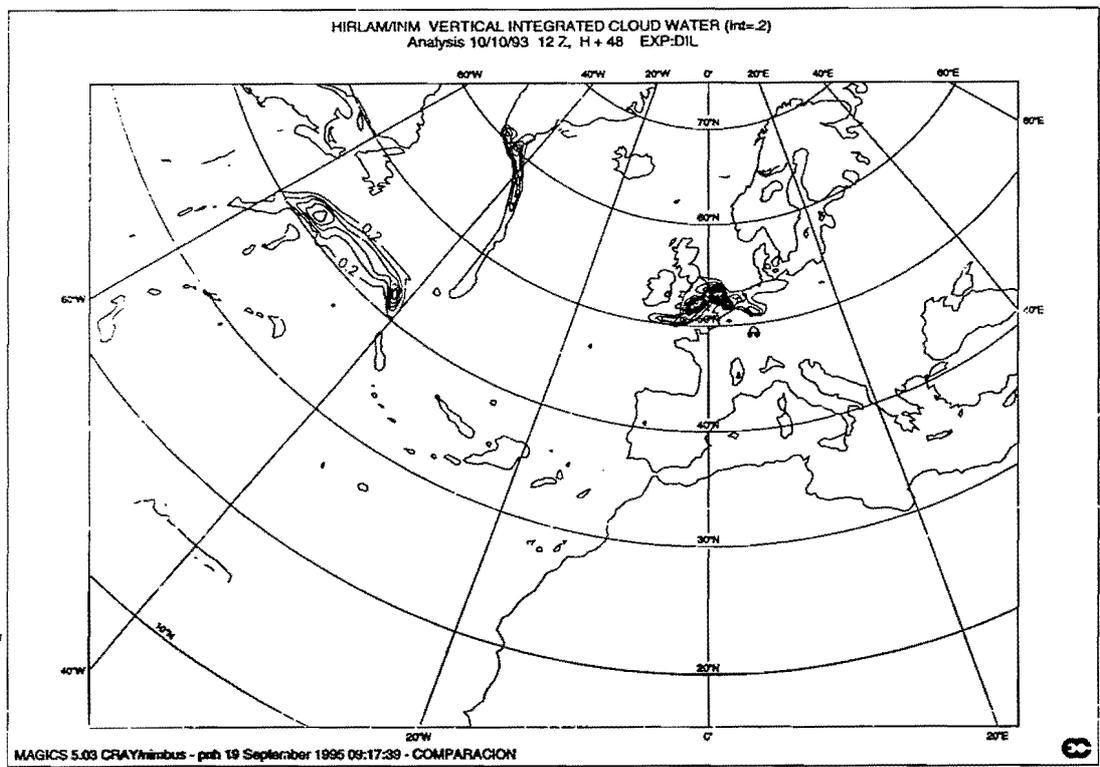


Figura 23.- Contenido de agua de nube de los experimentos DIL e IS3 para el alcance H+48.

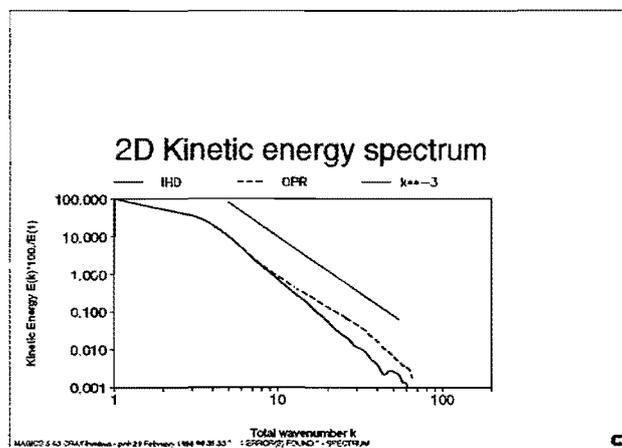
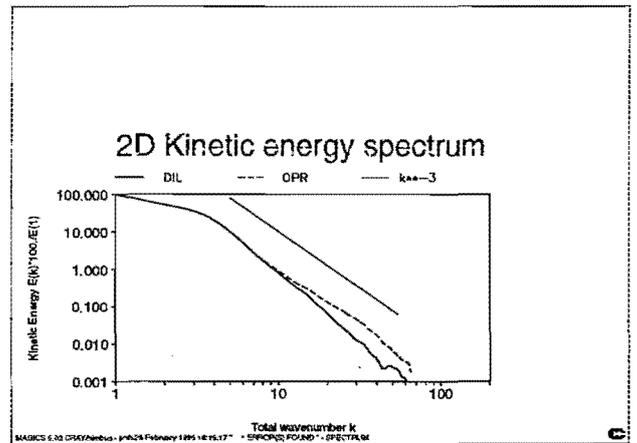
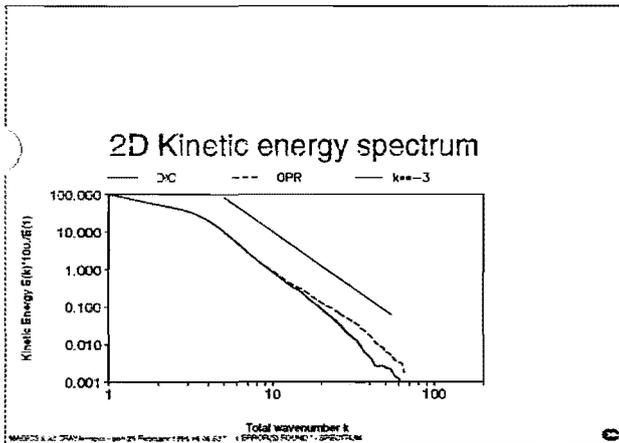


Figura 24.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para todos los niveles. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

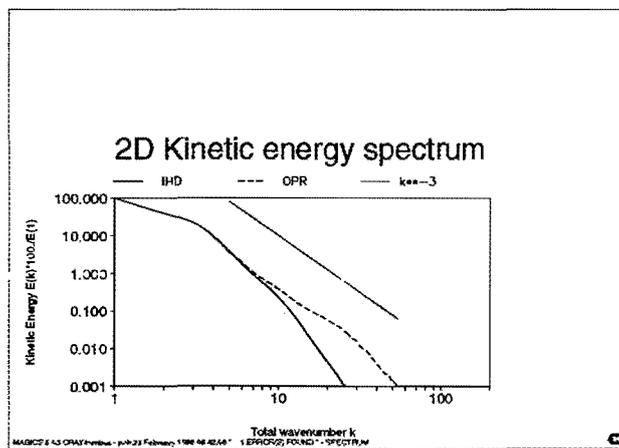
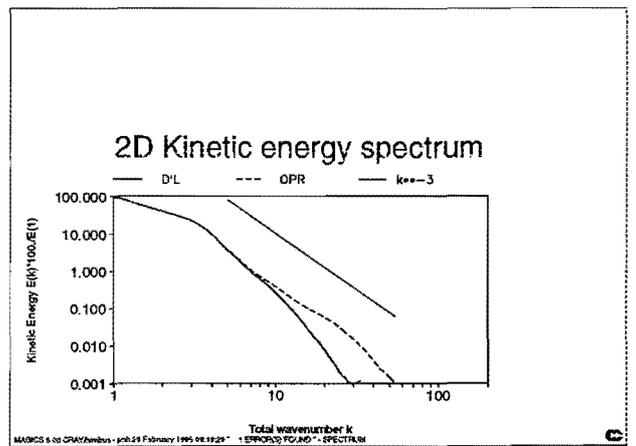
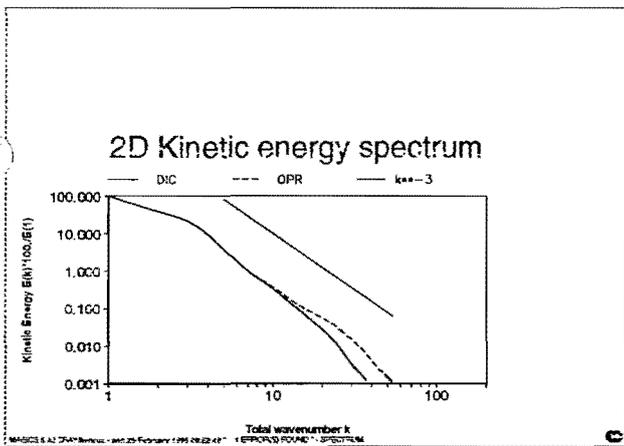


Figura 25.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para los 10 niveles superiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

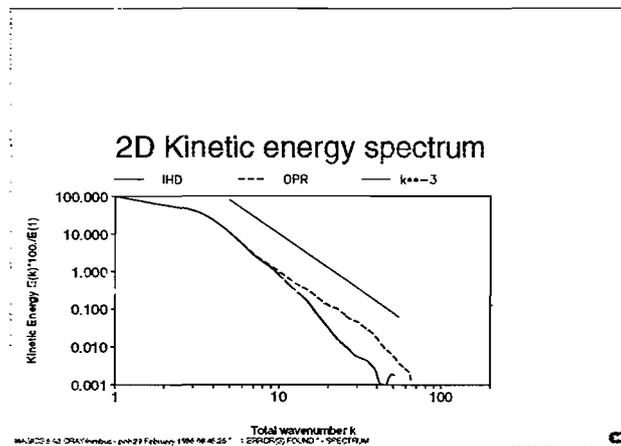
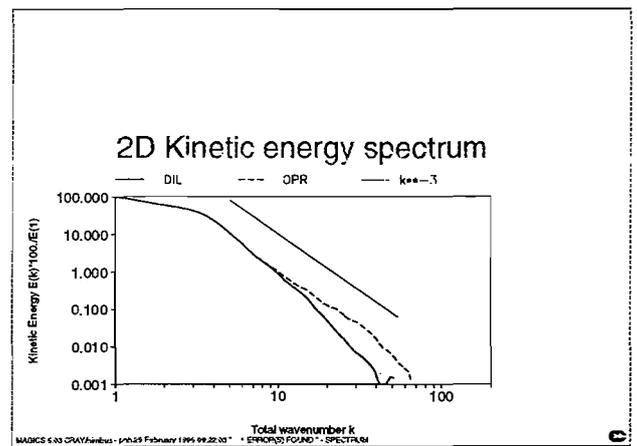
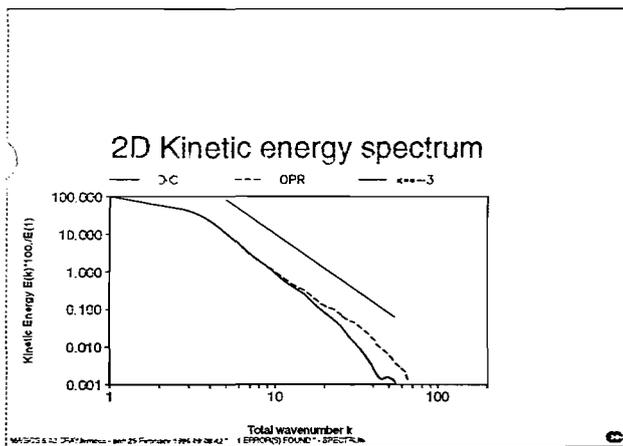


Figura 26.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para los 10 niveles intermedios. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

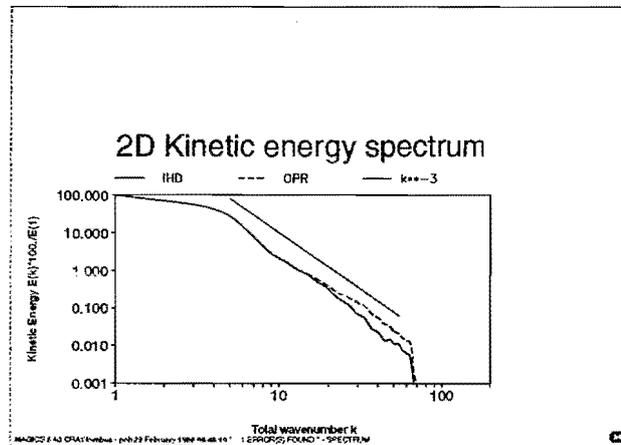
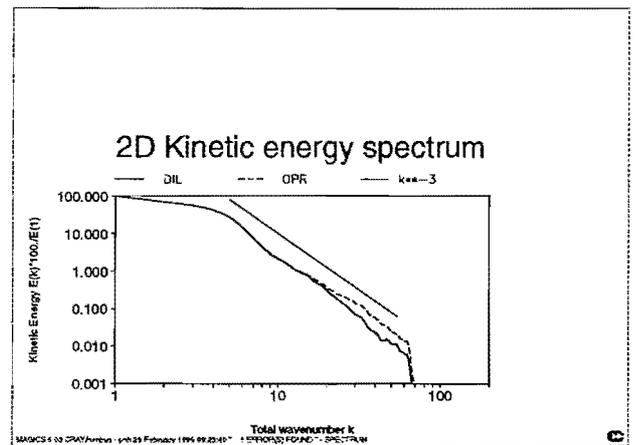
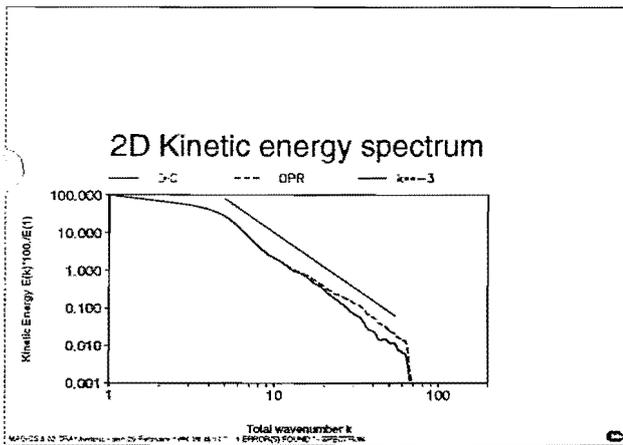


Figura 27.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para los 10 niveles inferiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

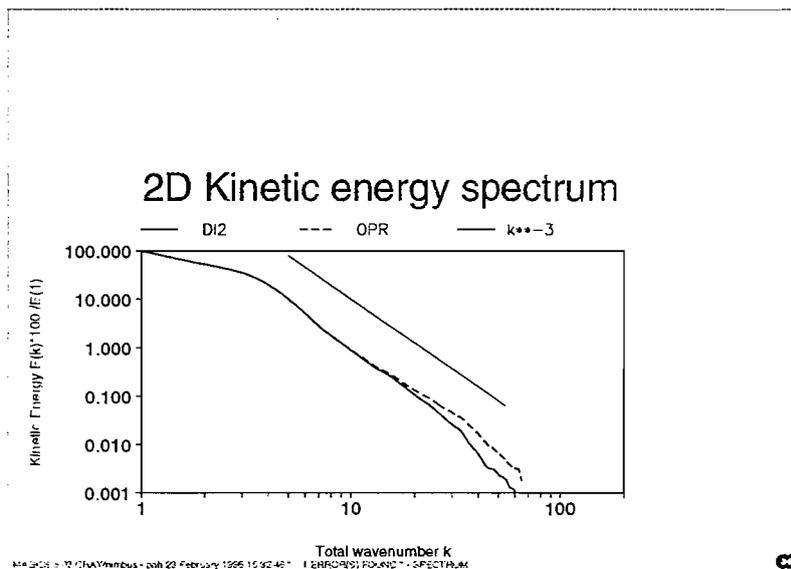
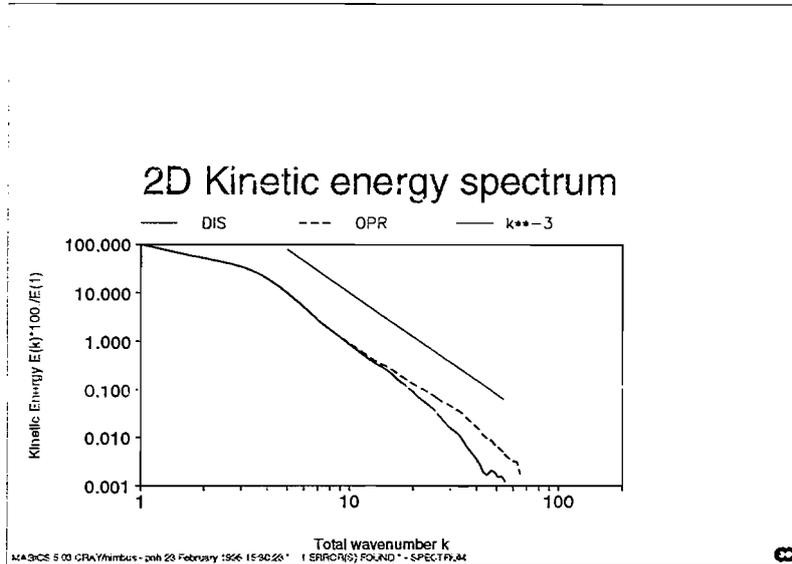


Figura 28.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para todos los niveles. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

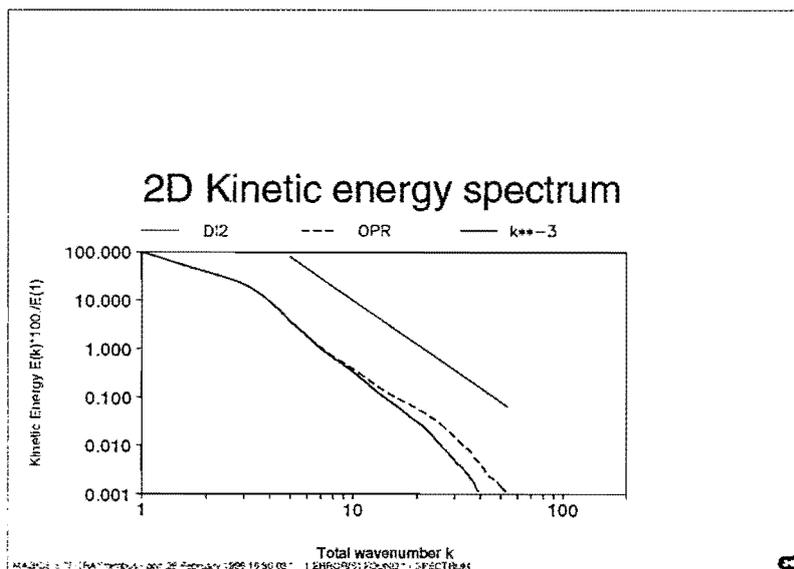
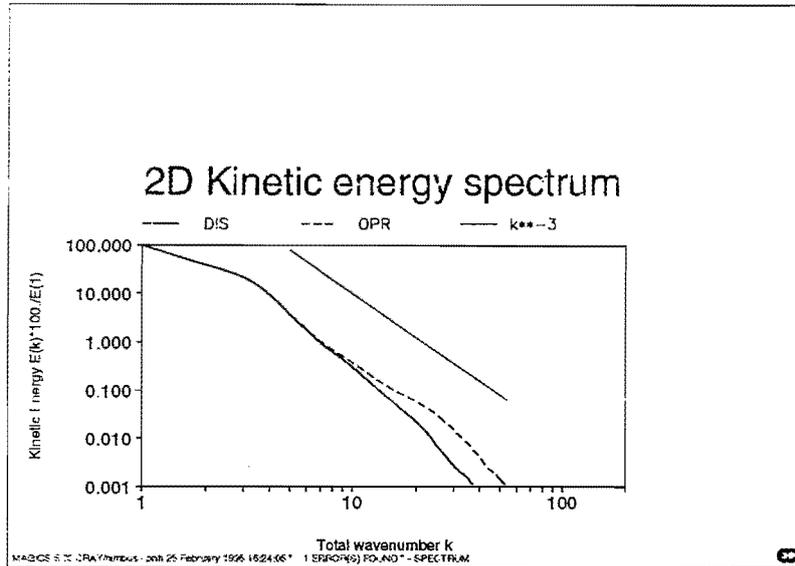


Figura 29.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para los 10 niveles superiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

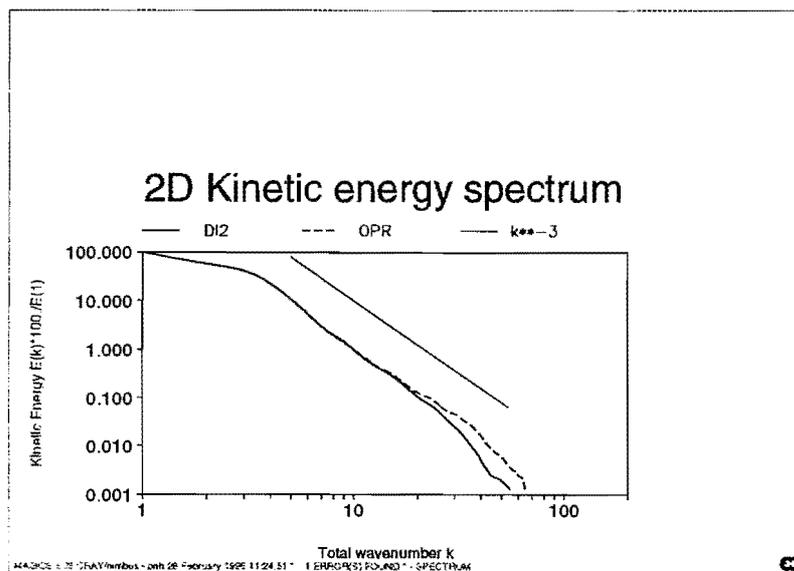
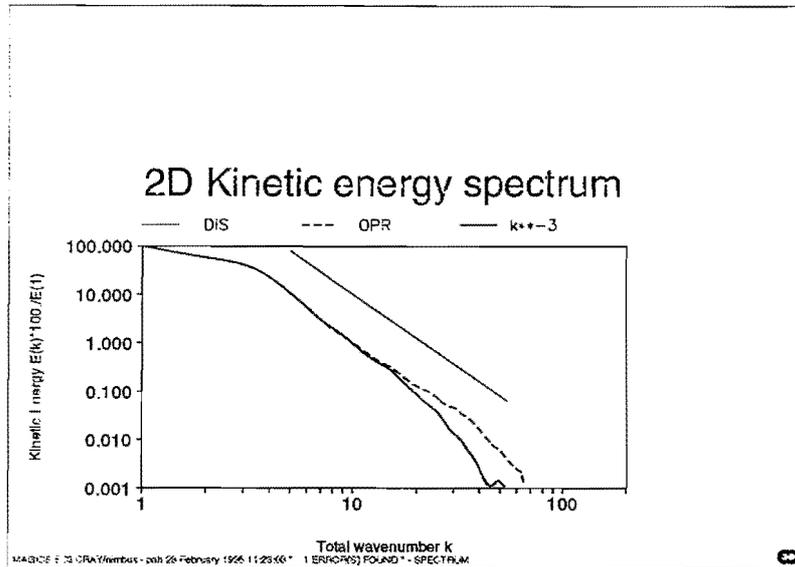


Figura 30.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para los 10 niveles intermedios. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

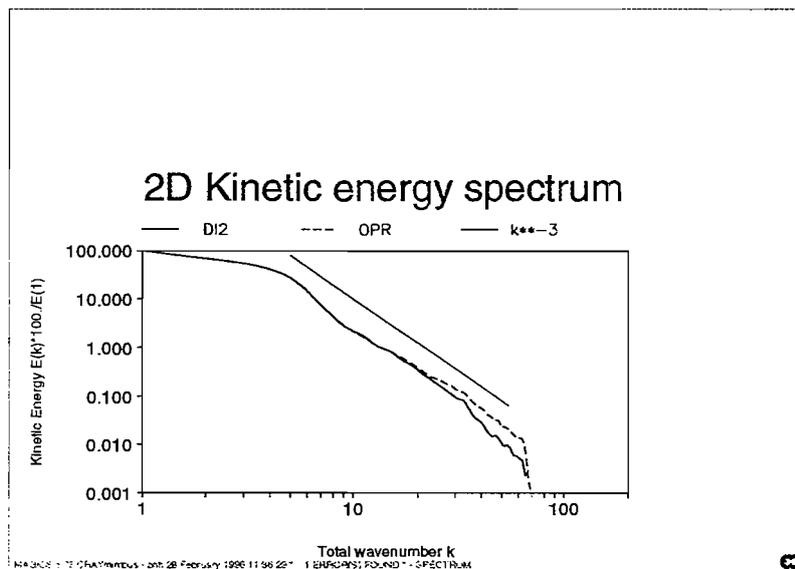
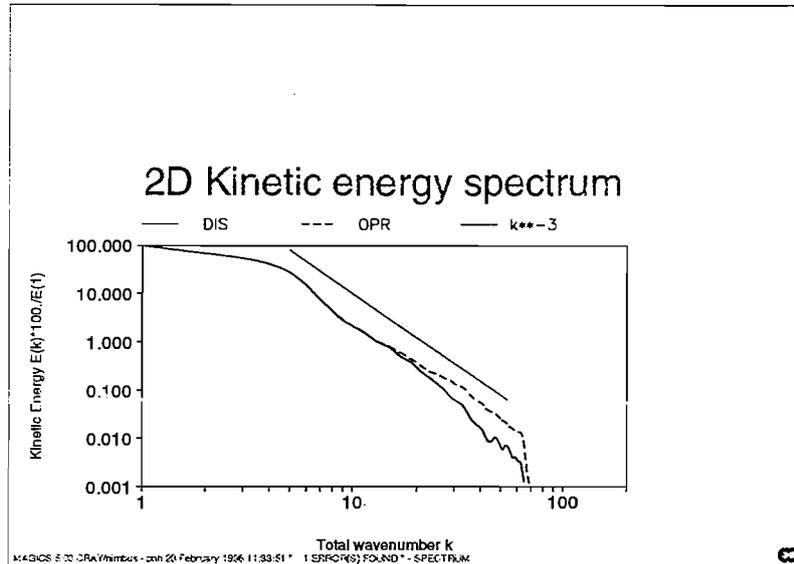


Figura 31.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.5° promediados para los 10 niveles inferiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas representan el experimento OPR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

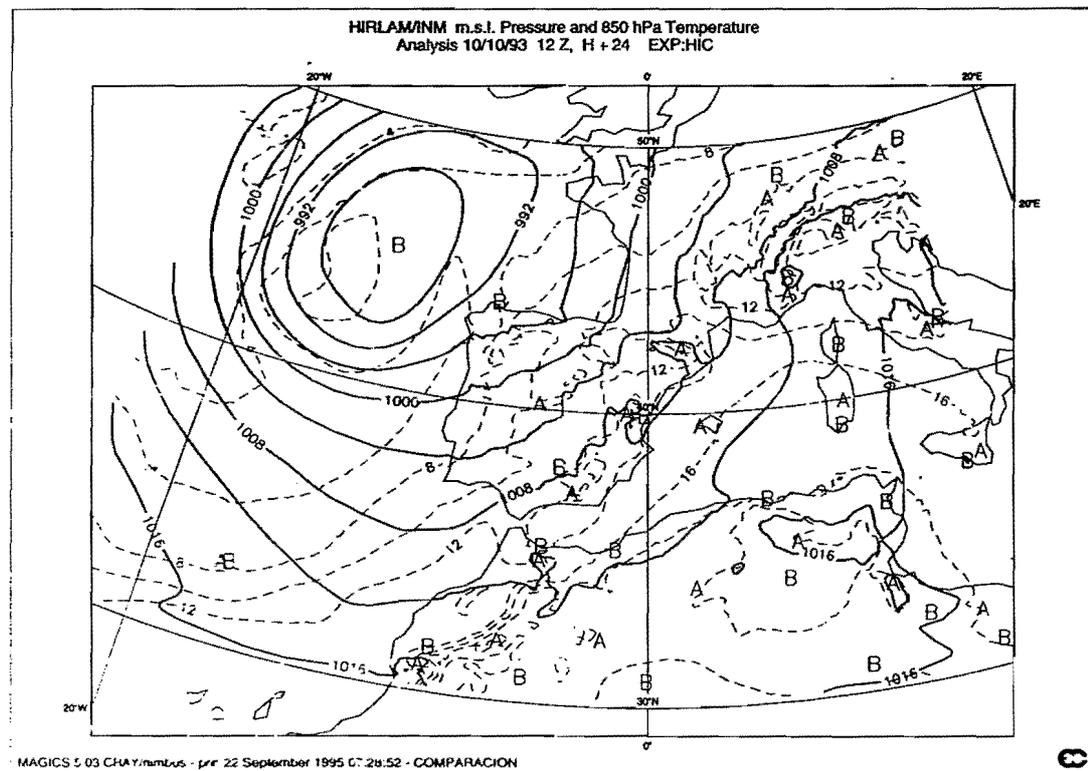
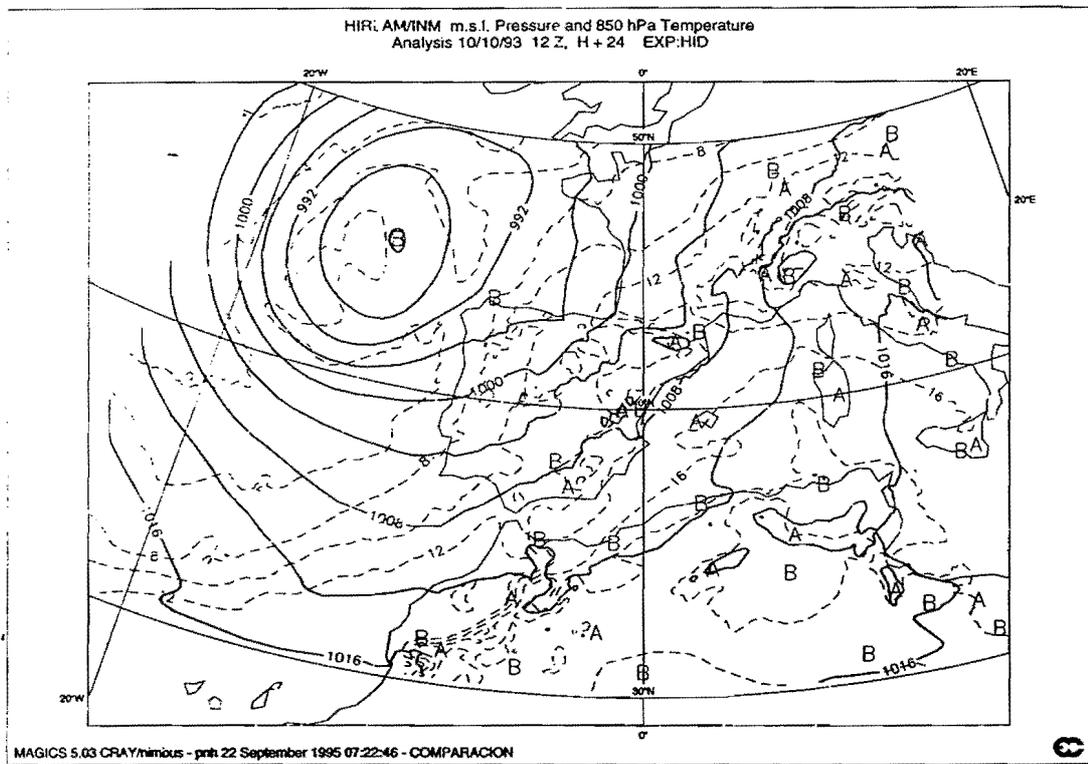


Figura 32.- Presión en superficie y temperatura en 850 mb de los experimentos HID y HIC para el alcance H + 24.

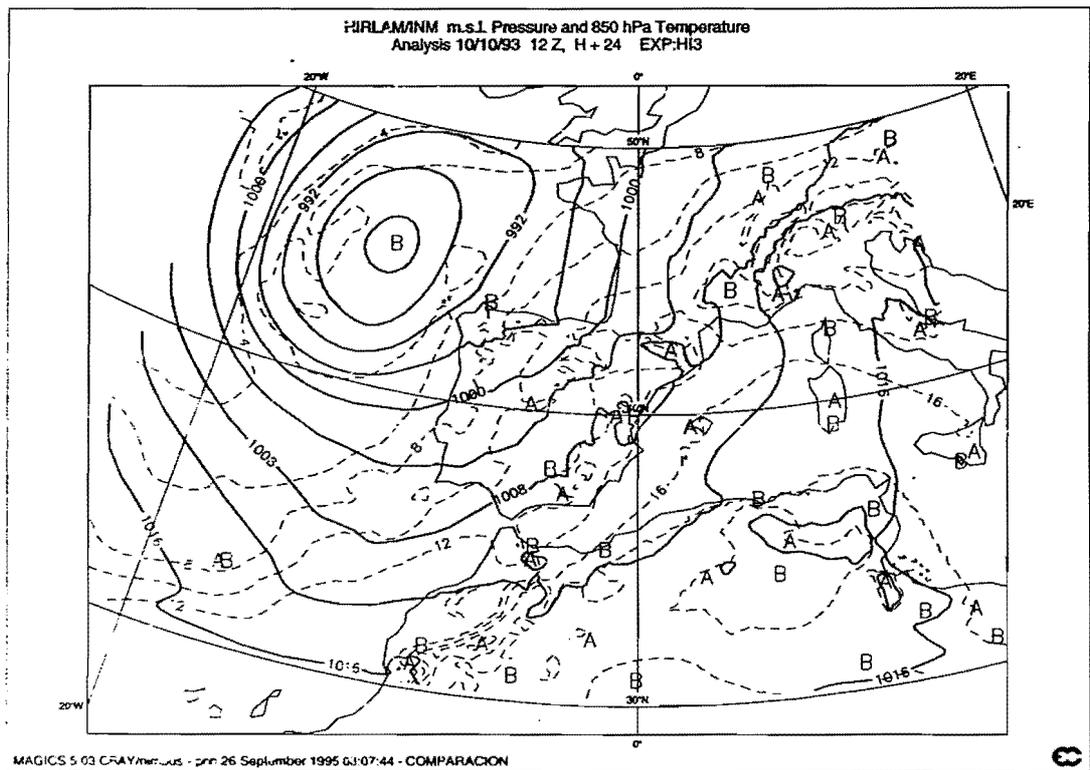
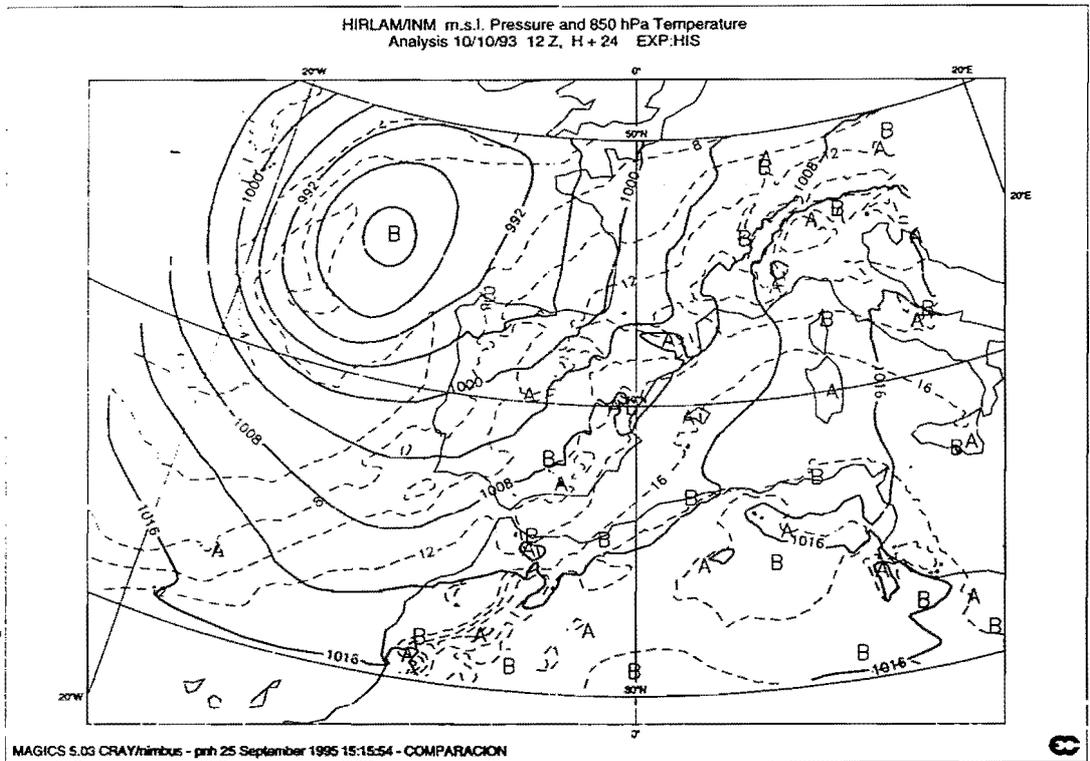


Figura 33.- Presión en superficie y temperatura en 850 mb de los experimentos HIS y HI3 para el alcance H + 24.

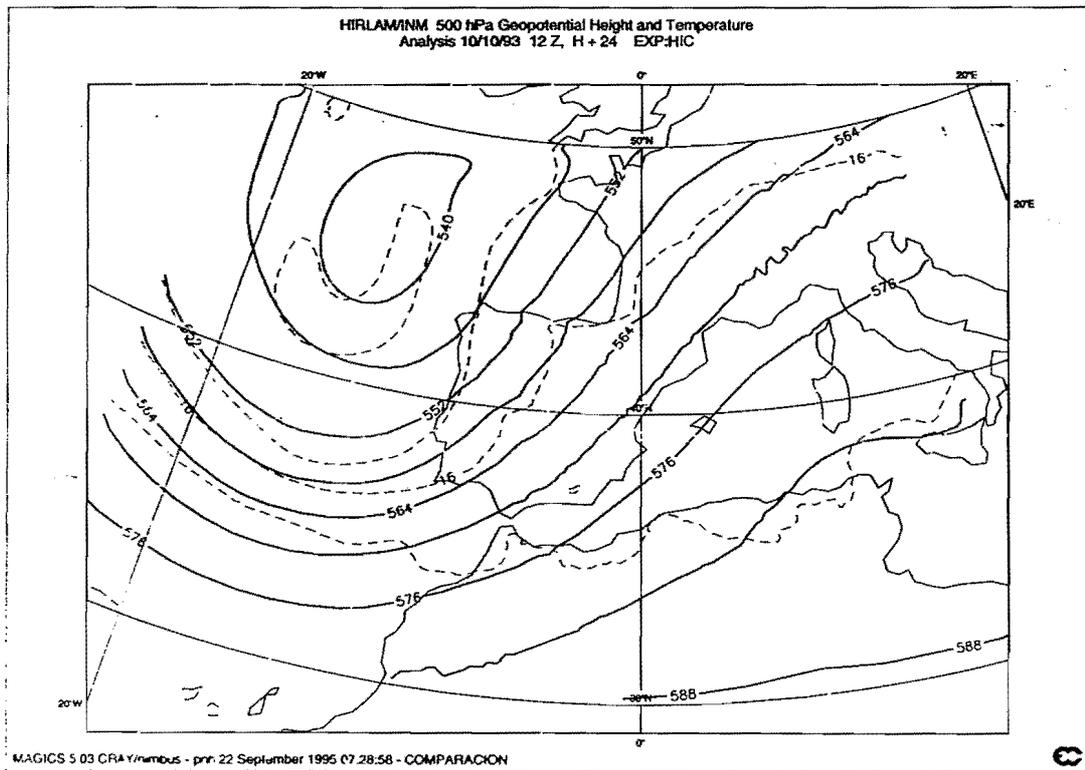
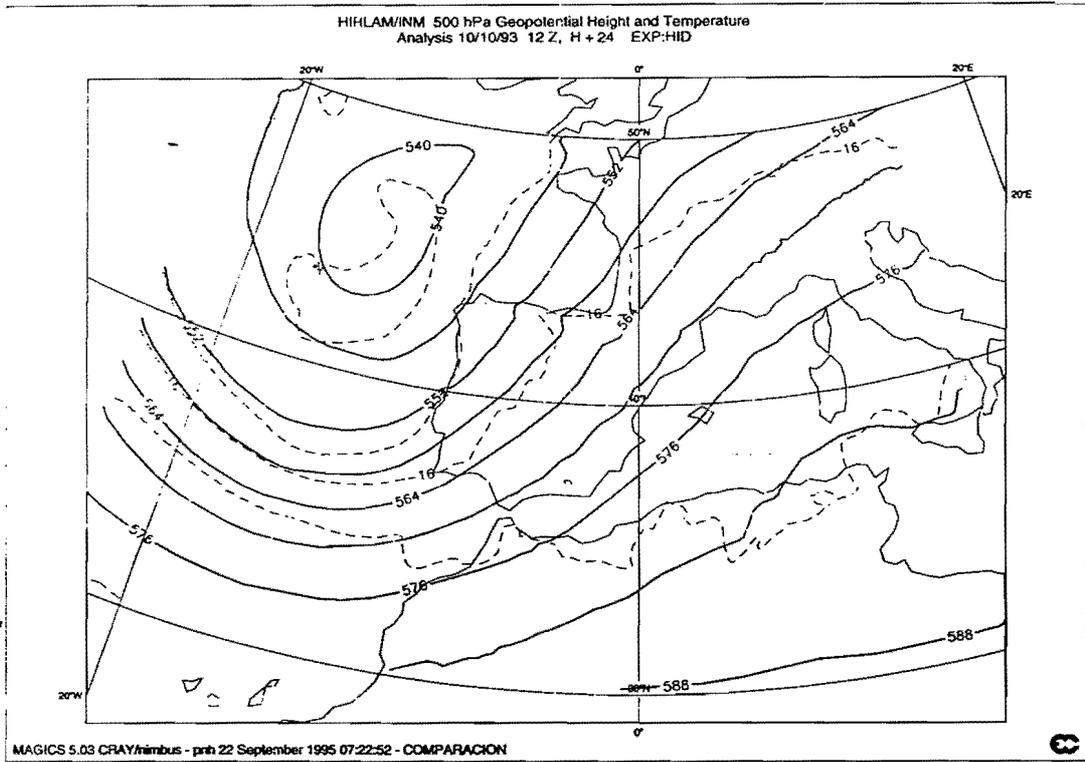


Figura 34.- Geopotencial y temperatura en 500 mb de los experimentos HID y HIC para el alcance H+24.

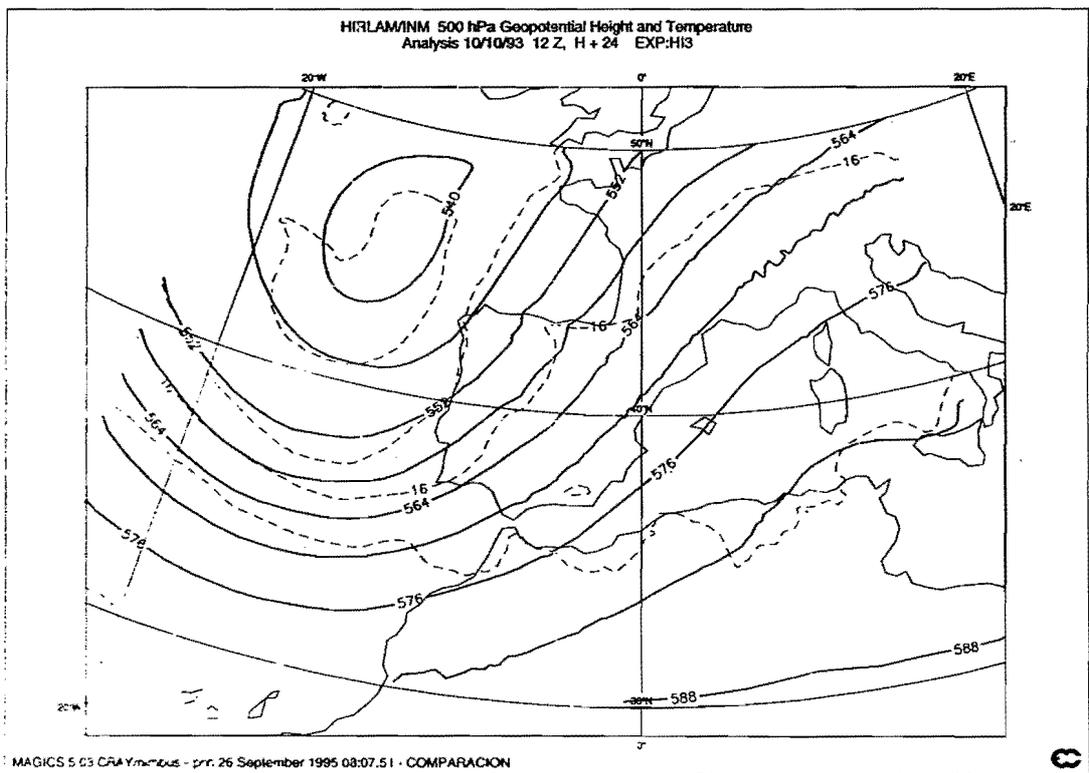
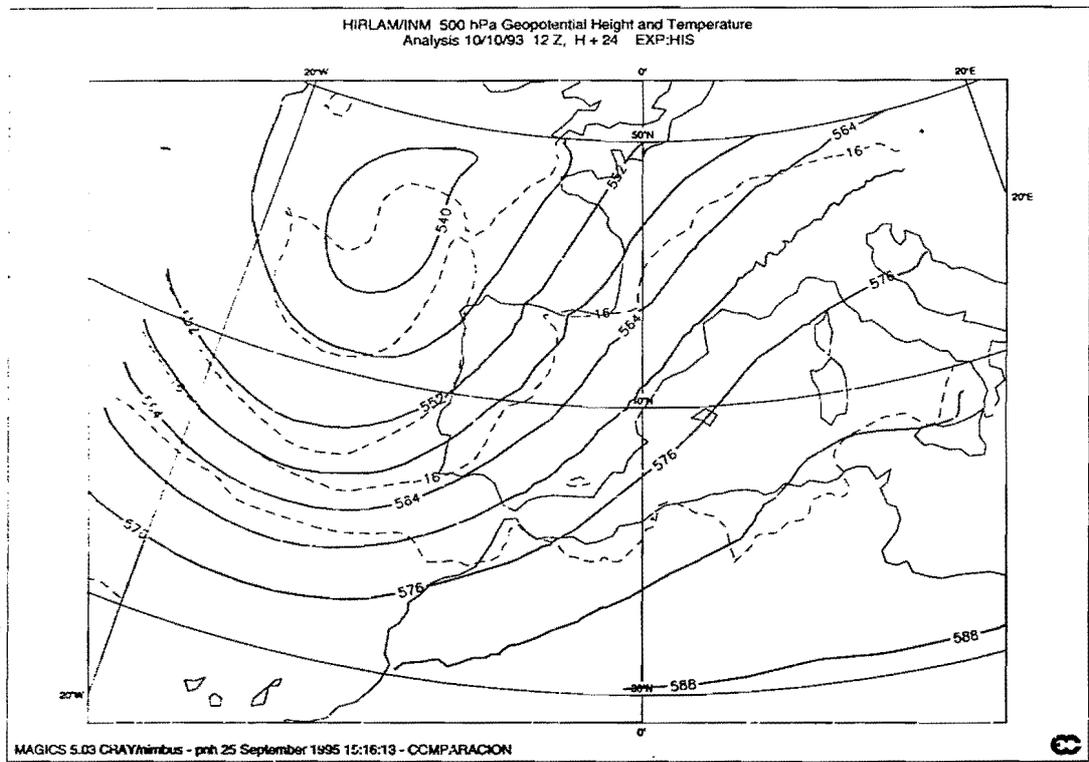


Figura 35.- Geopotencial y temperatura en 500 mb de los experimentos HIS y HI3 para el alcance H + 24.

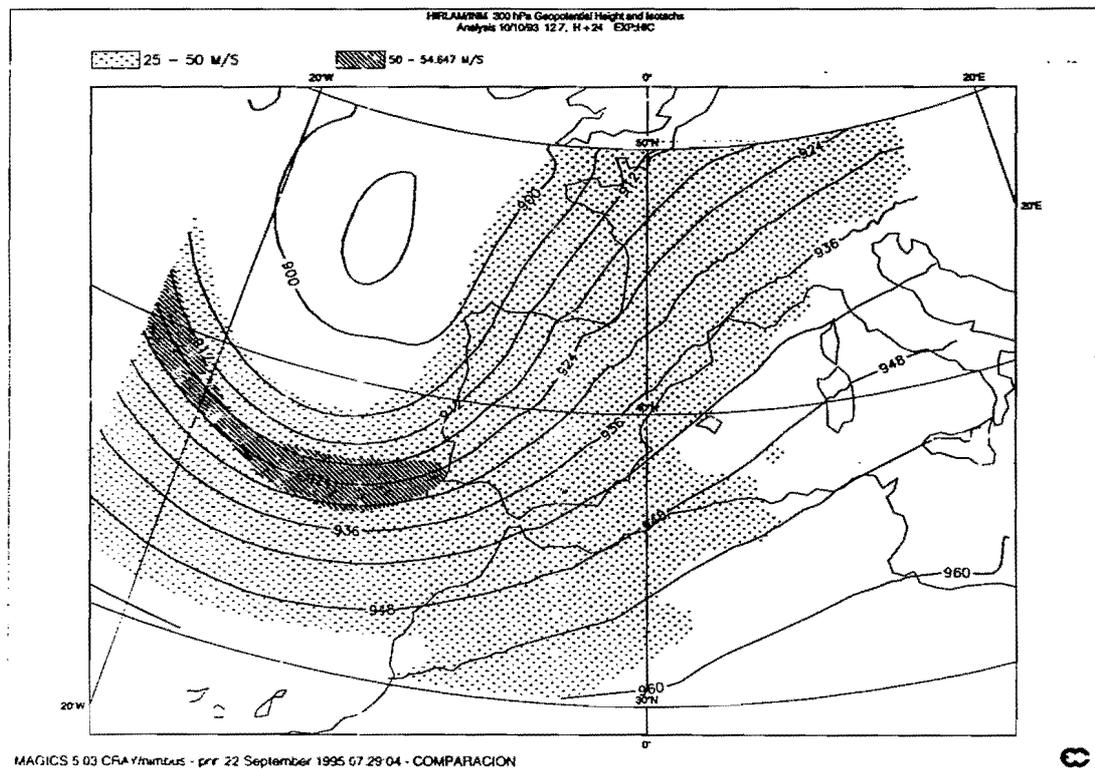
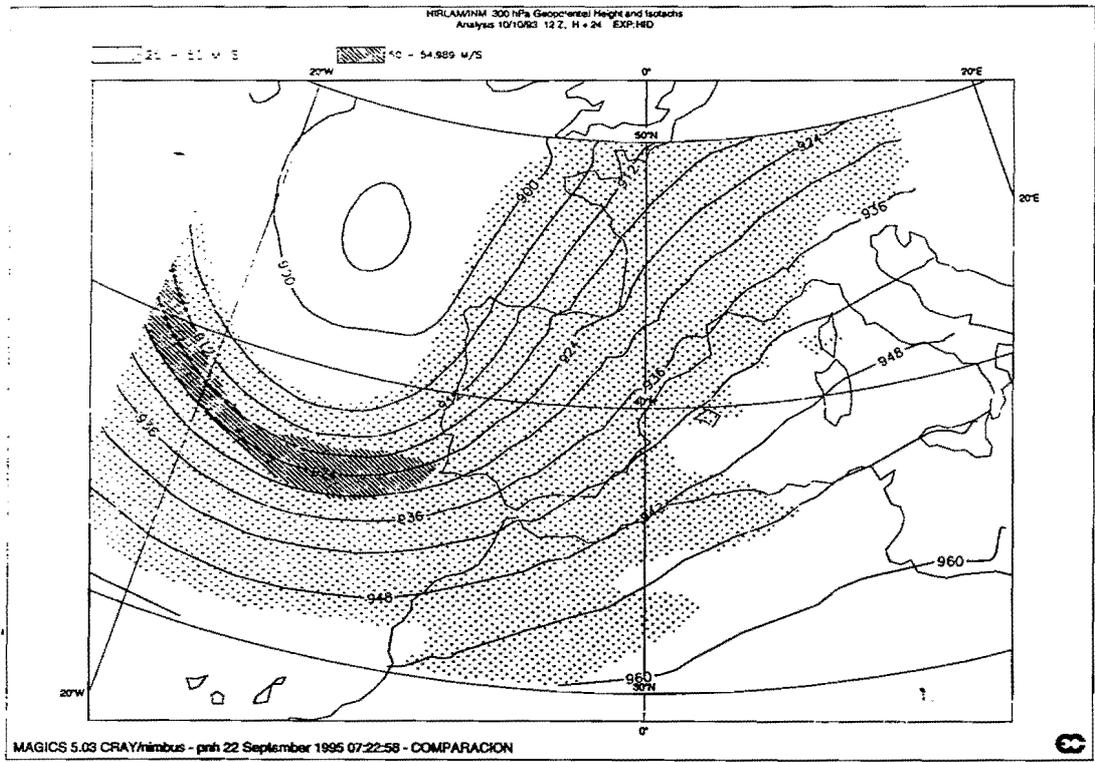


Figura 36.- Geopotencial e isotacas en 300 mb de los experimentos HID y HIC para el alcance H + 24.

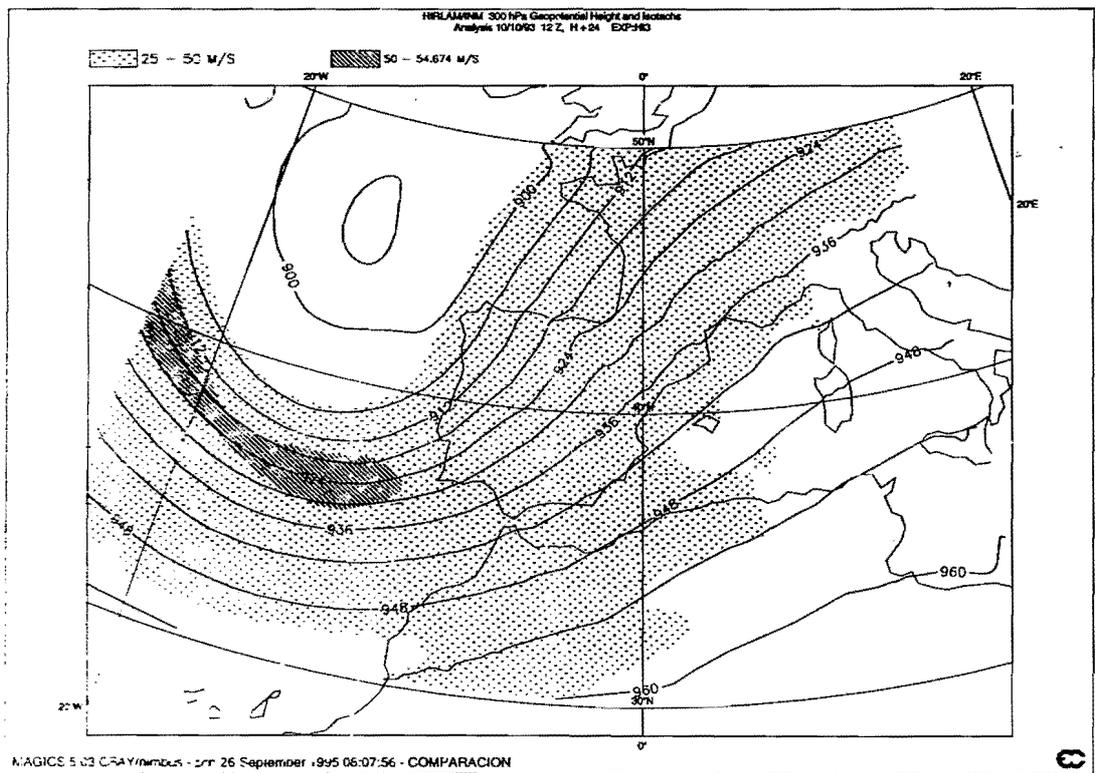
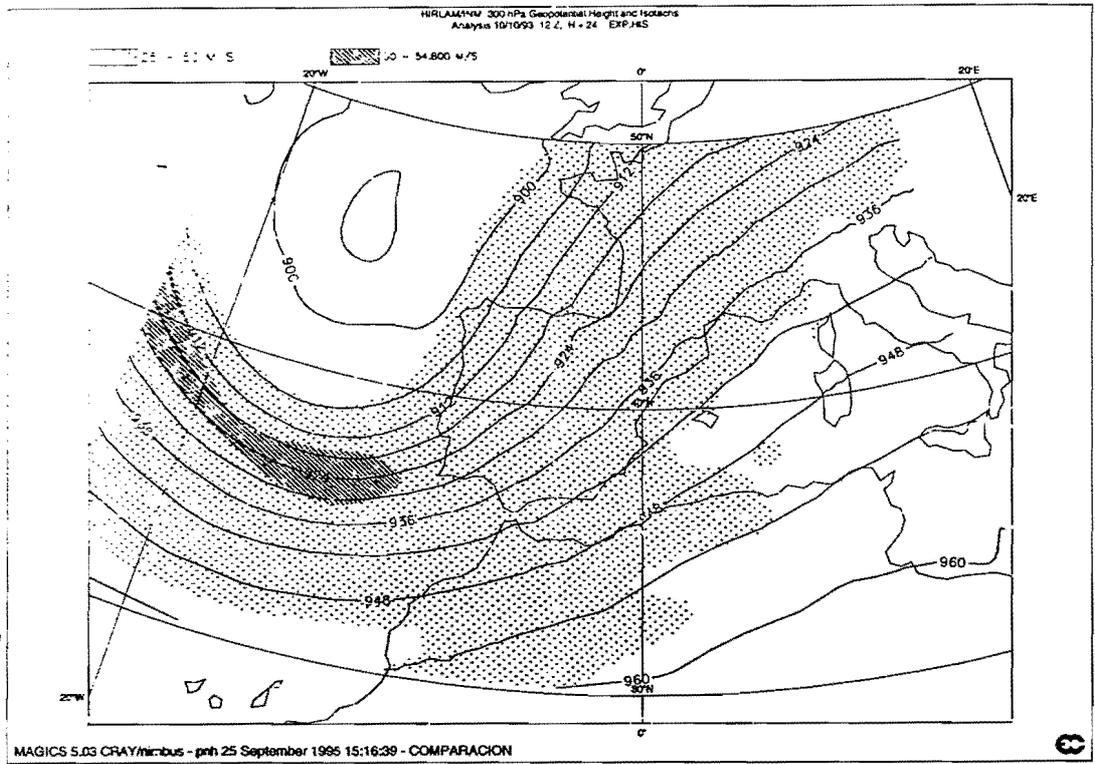


Figura 37.- Geopotencial e isotacas en 300 mb de los experimentos HIS y HI3 para el alcance H+24.

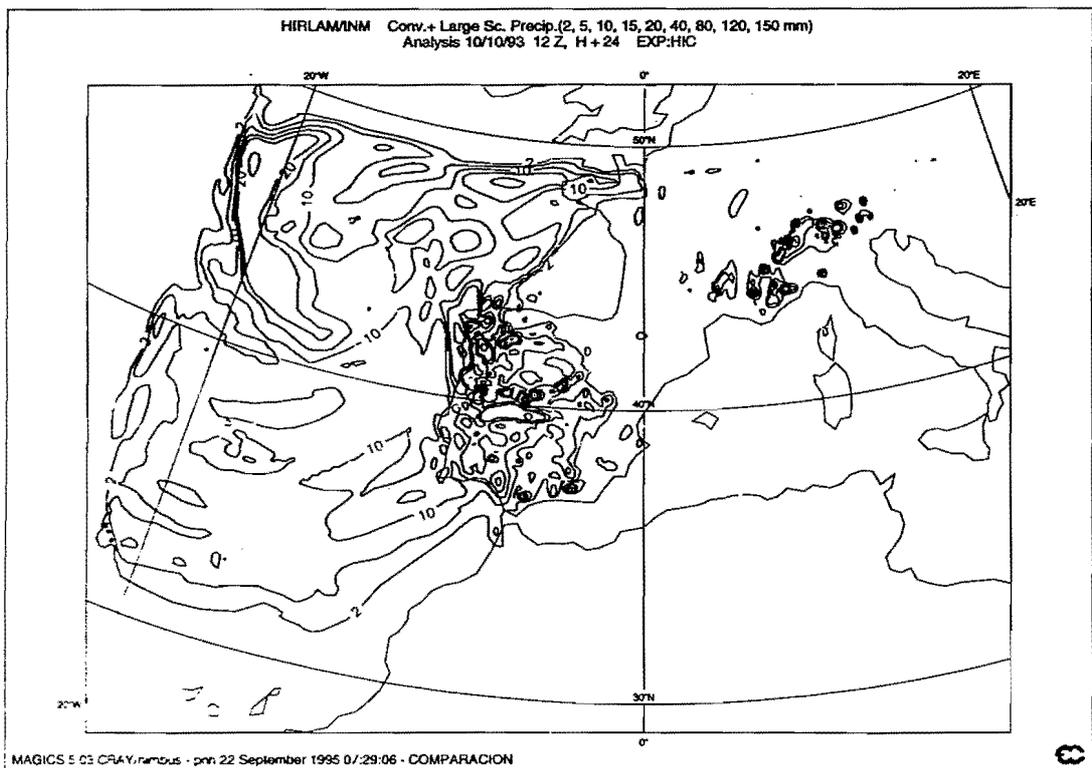
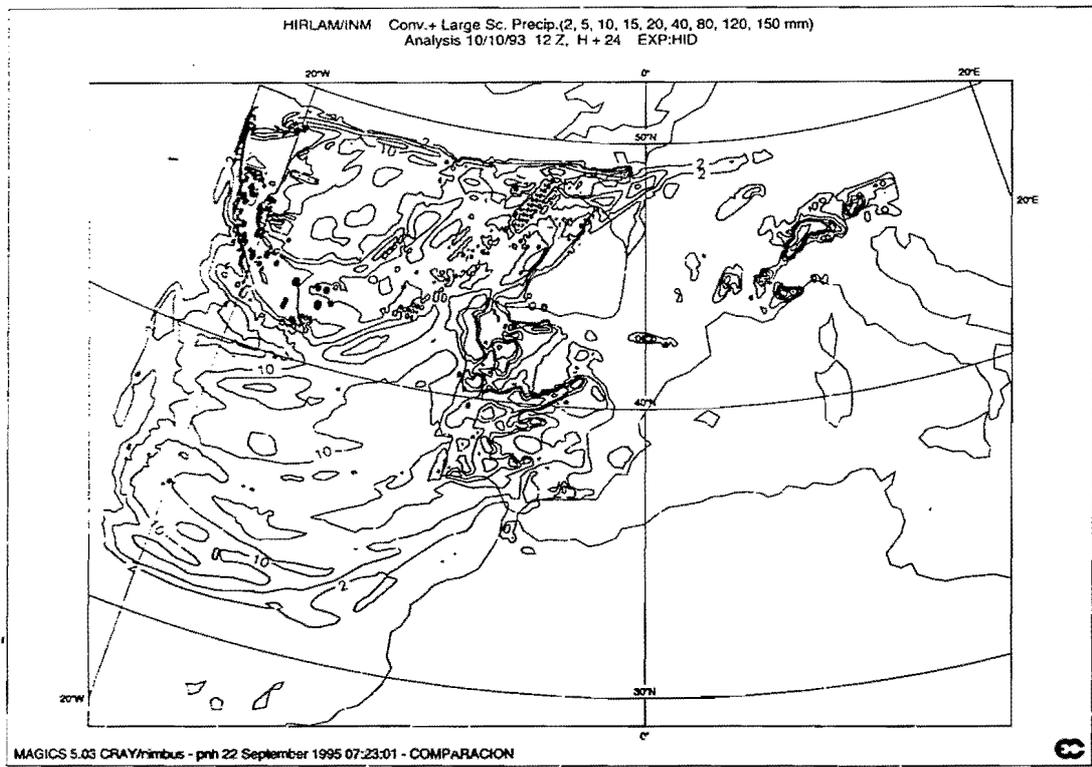


Figura 38.- Precipitación total de los experimentos HID y HIC para el alcance H + 24.

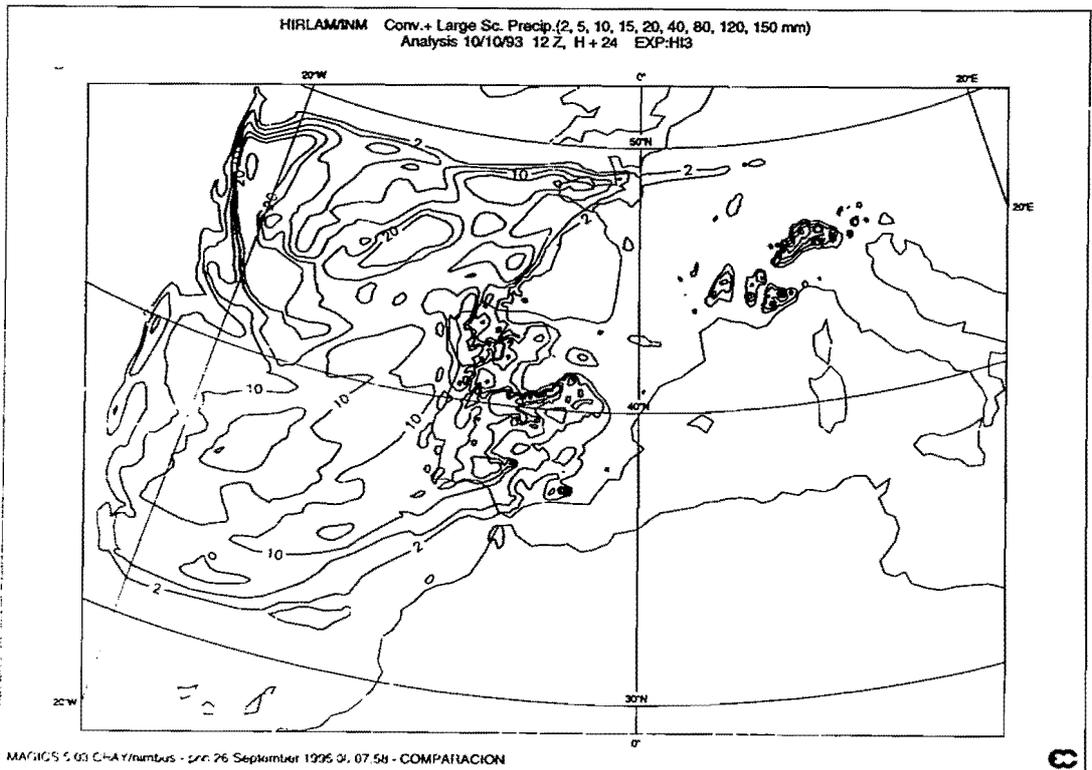
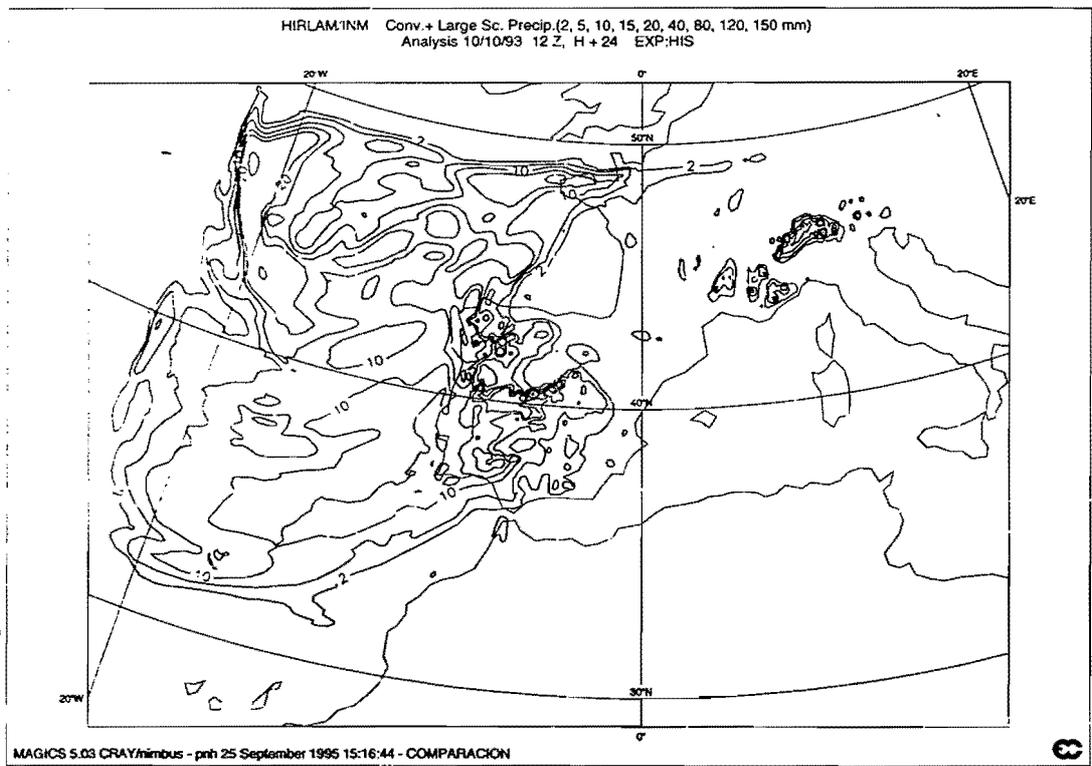


Figura 39.- Precipitación total de los experimentos HIS y HI3 para el alcance H + 24.

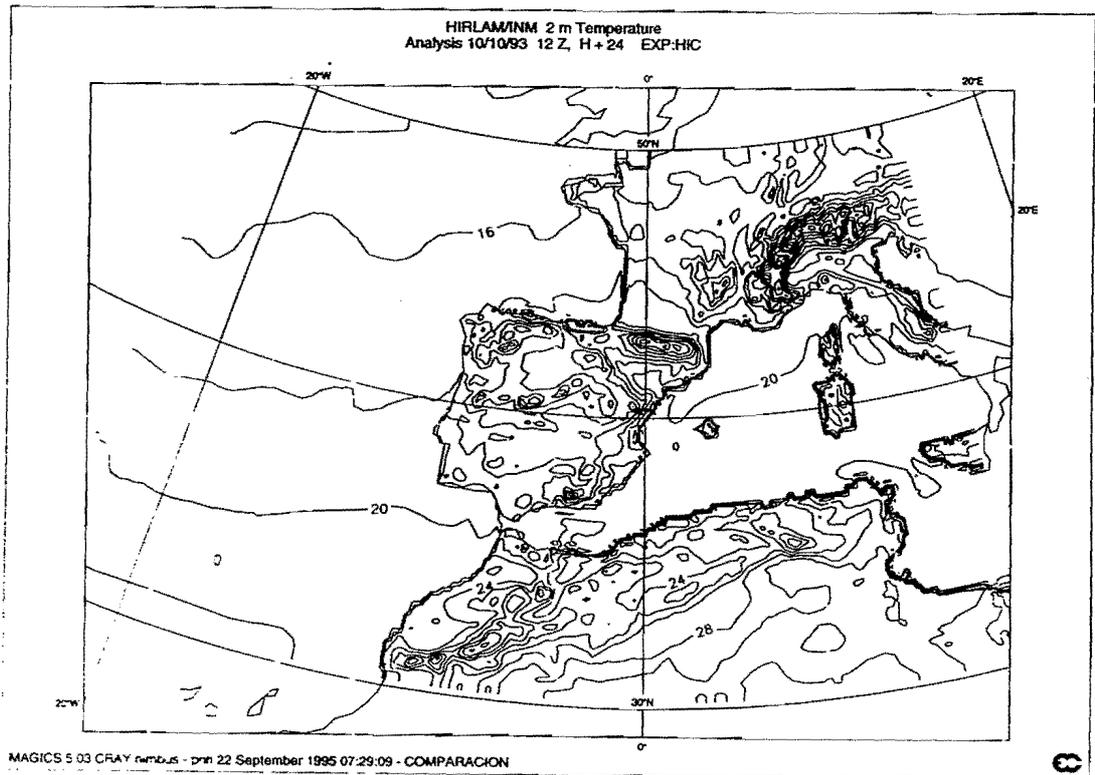
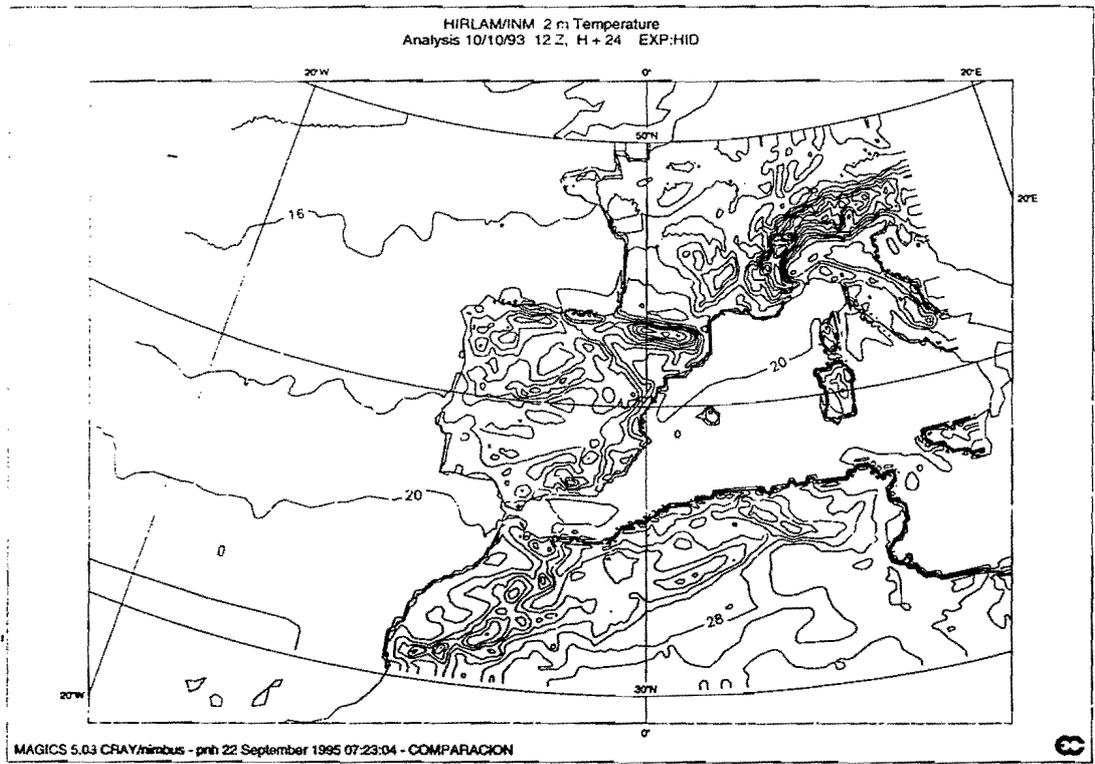


Figura 40.- Temperatura a 2 m. de los experimentos HID y HIC para el alcance H + 24.

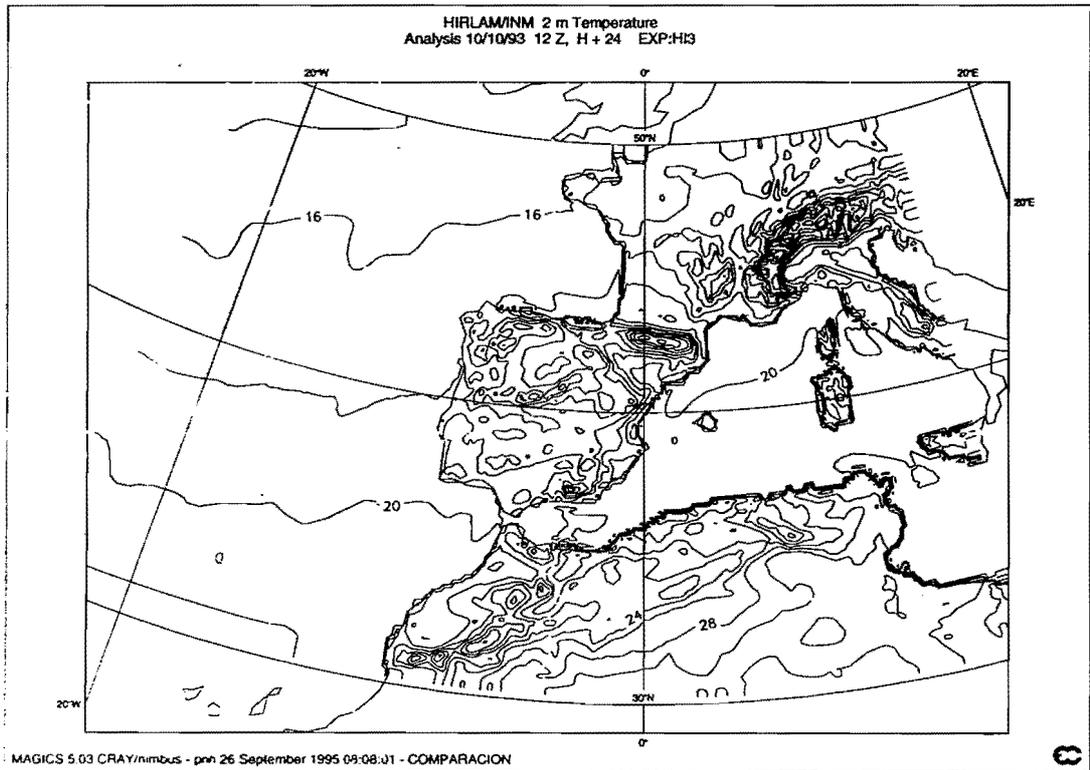
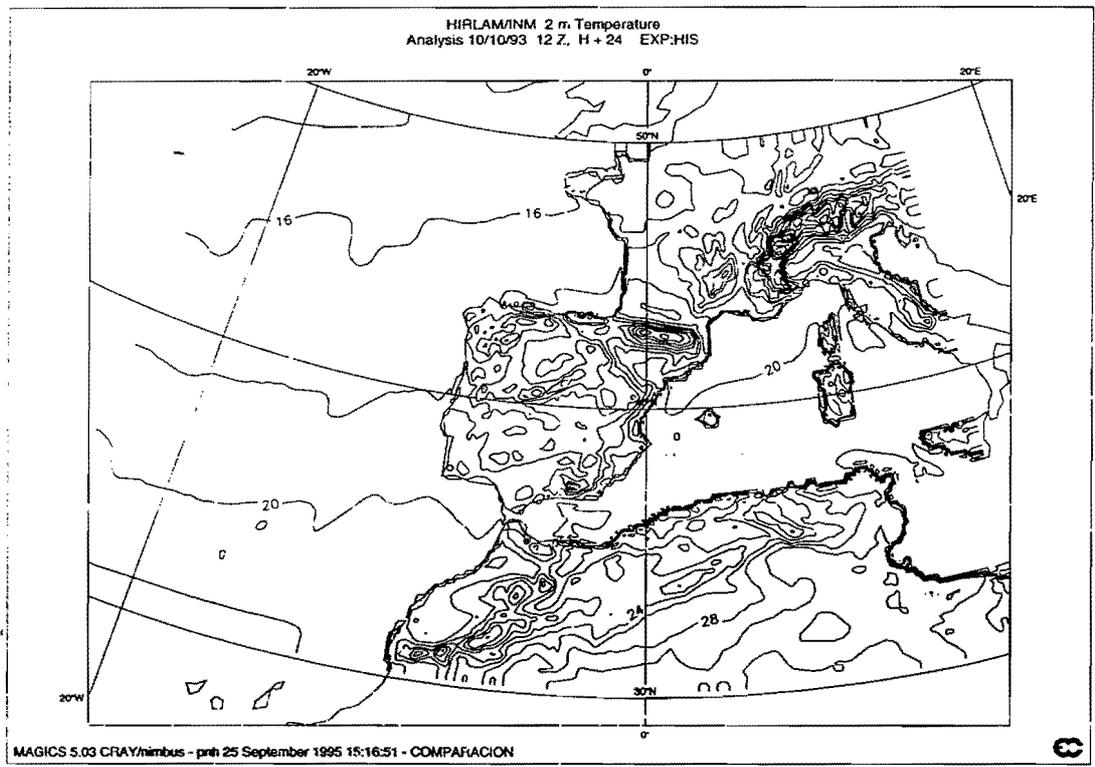


Figura 41.- Temperatura a 2 m. de los experimentos HIS y HI3 para el alcance H+24.

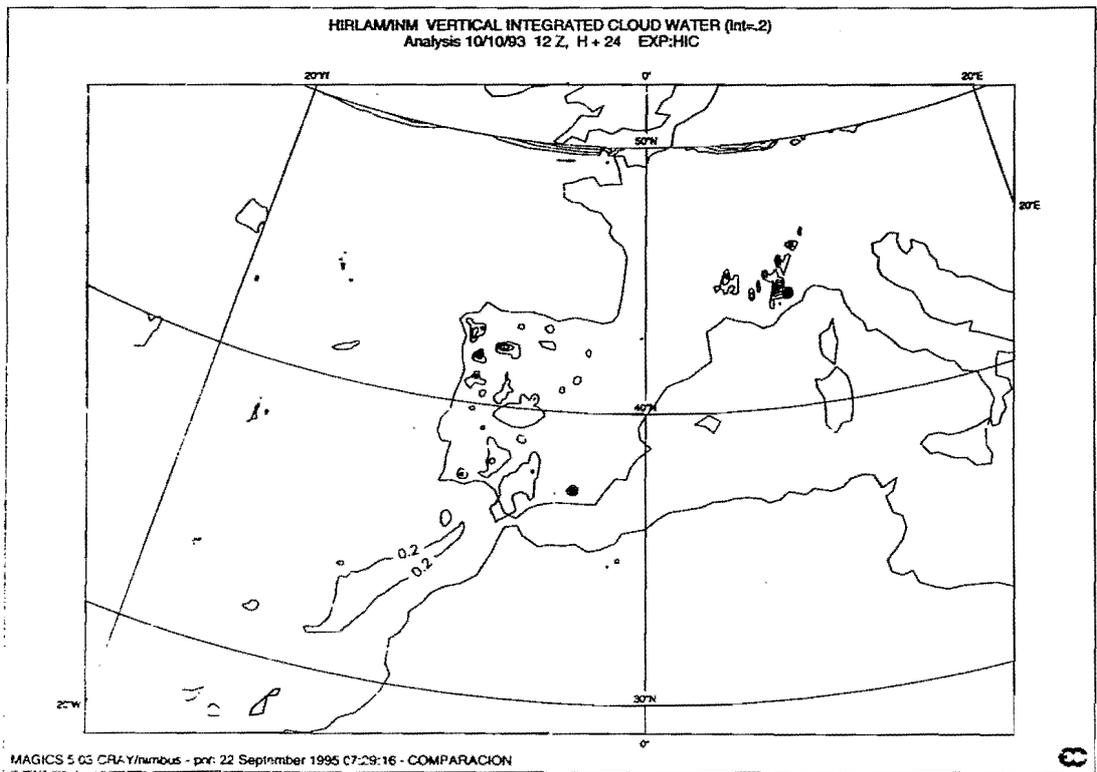
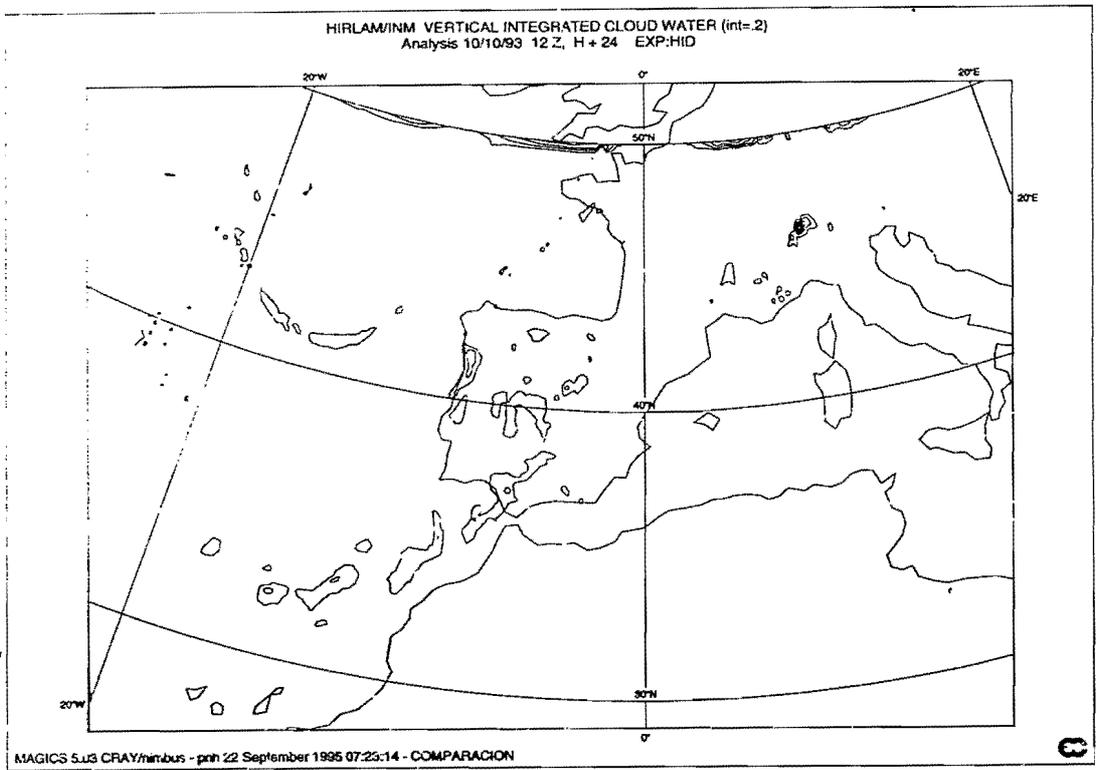


Figura 42.- Contenido de agua de nube de los experimentos HID y HIC para el alcance H + 24.

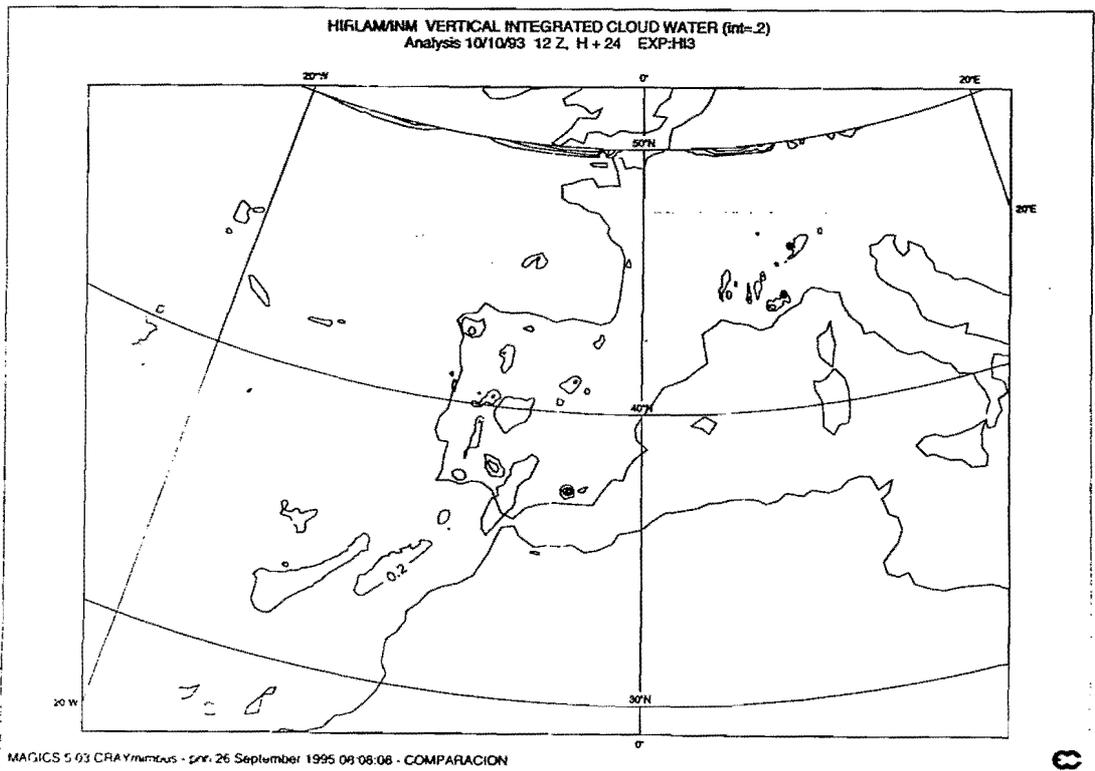
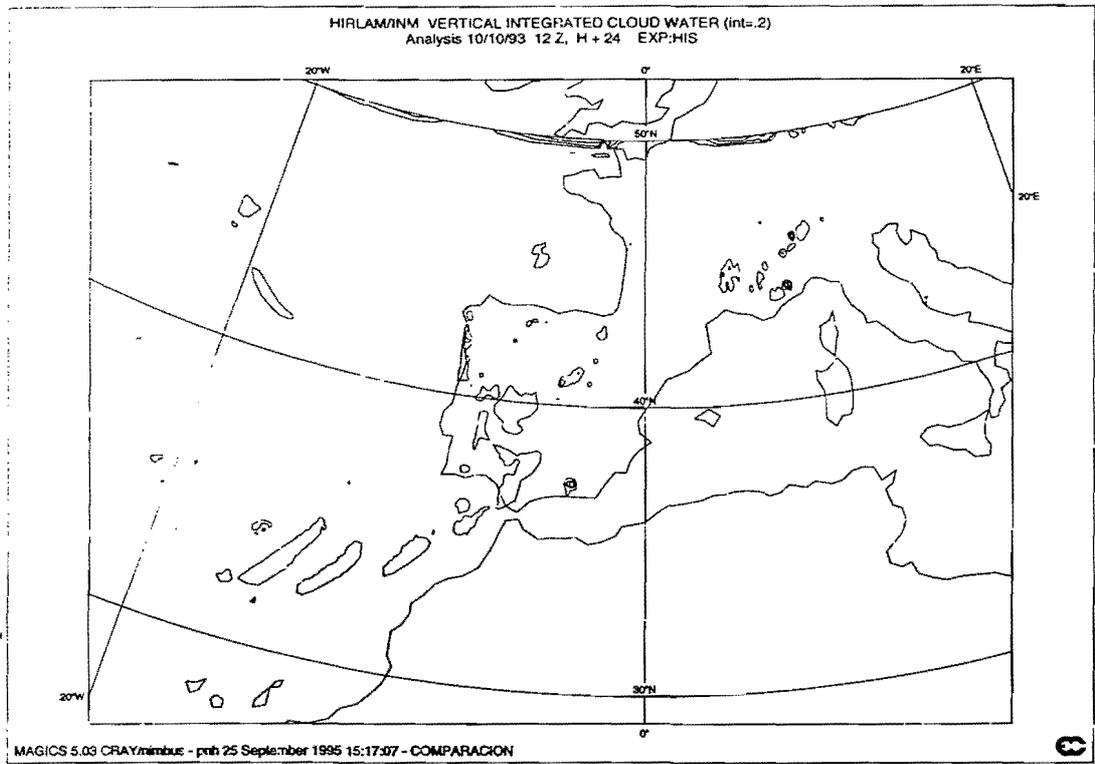


Figura 43.- Contenido de agua de nube de los experimentos HIS y HI3 para el alcance H + 24.

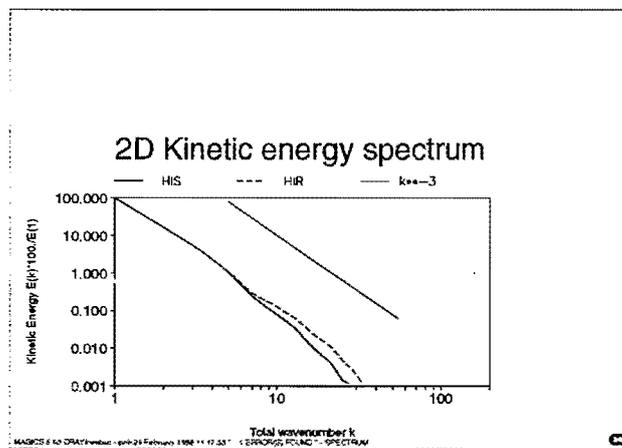
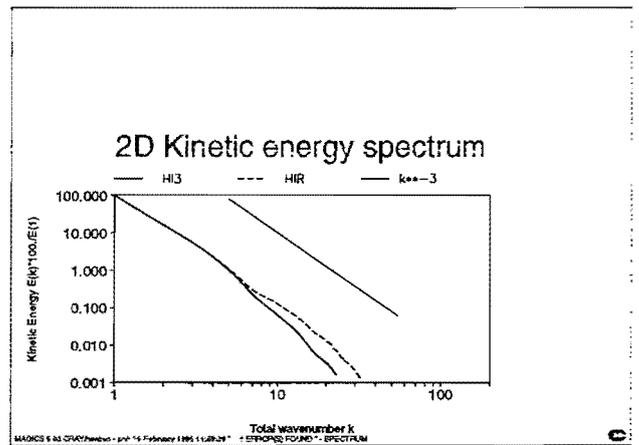
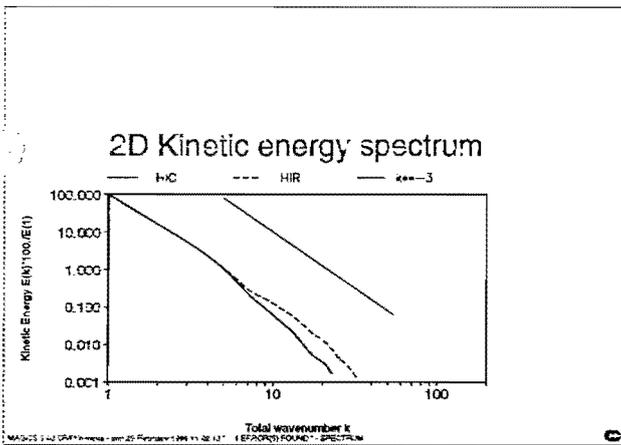


Figura 44.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2° promediados para todos los niveles. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

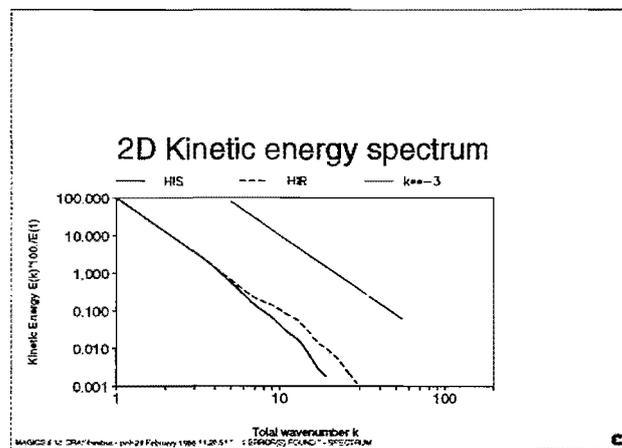
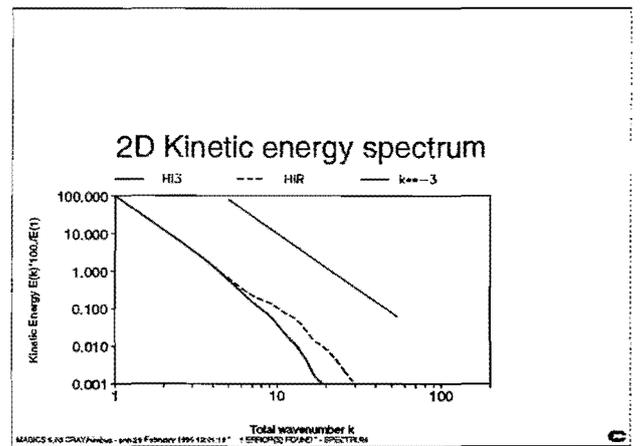
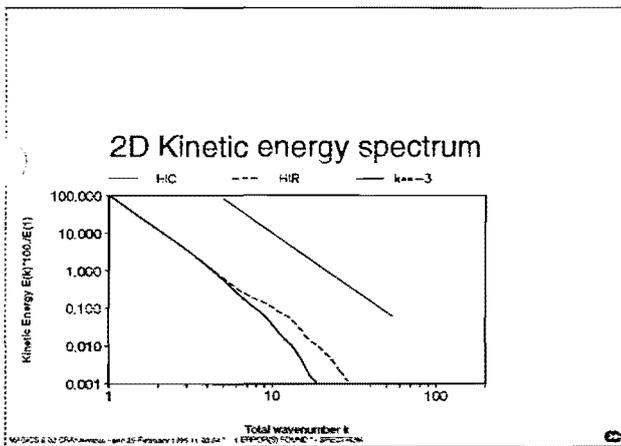


Figura 45.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2° promediados para los niveles superiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

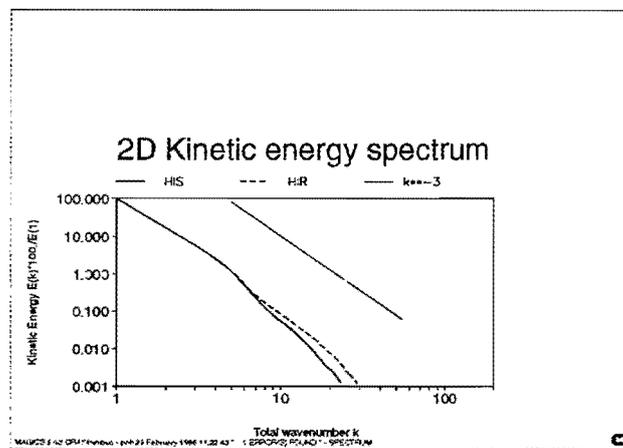
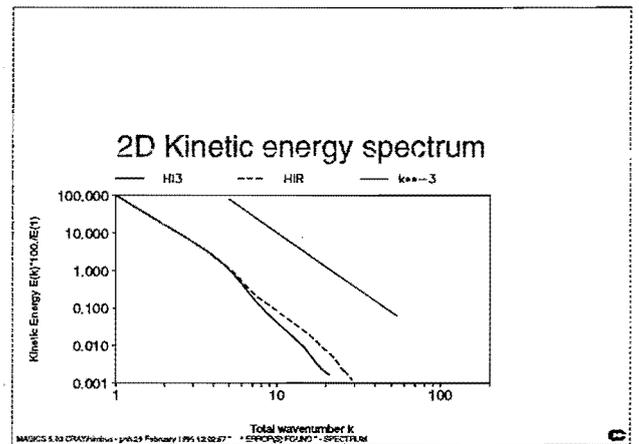
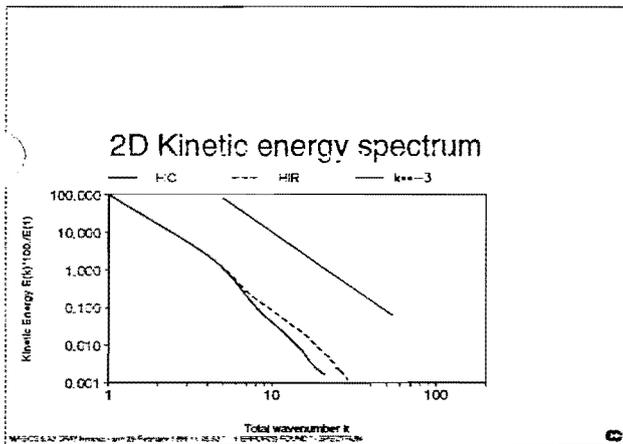


Figura 46.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2° promediados para los niveles intermedios. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

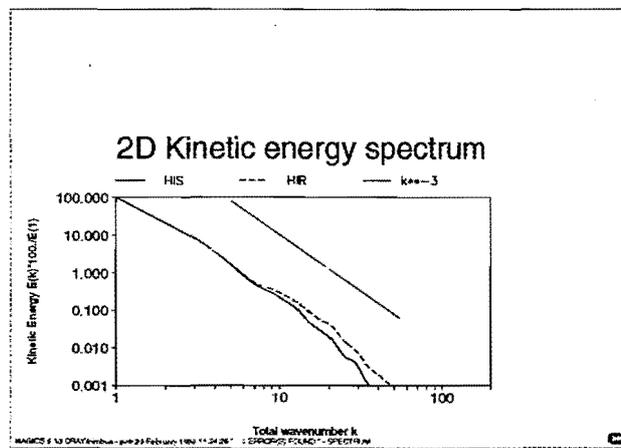
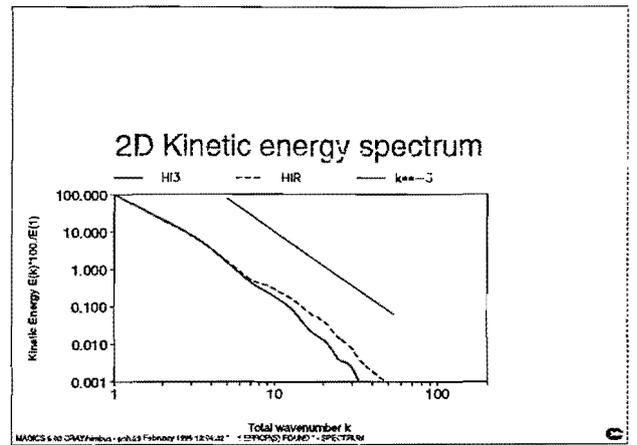
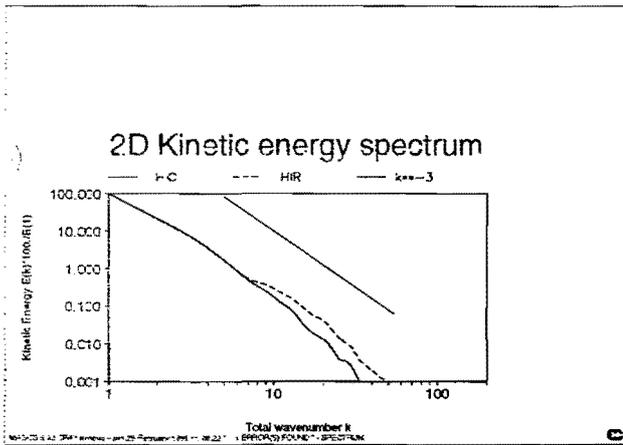


Figura 47.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2° promediados para los niveles inferiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

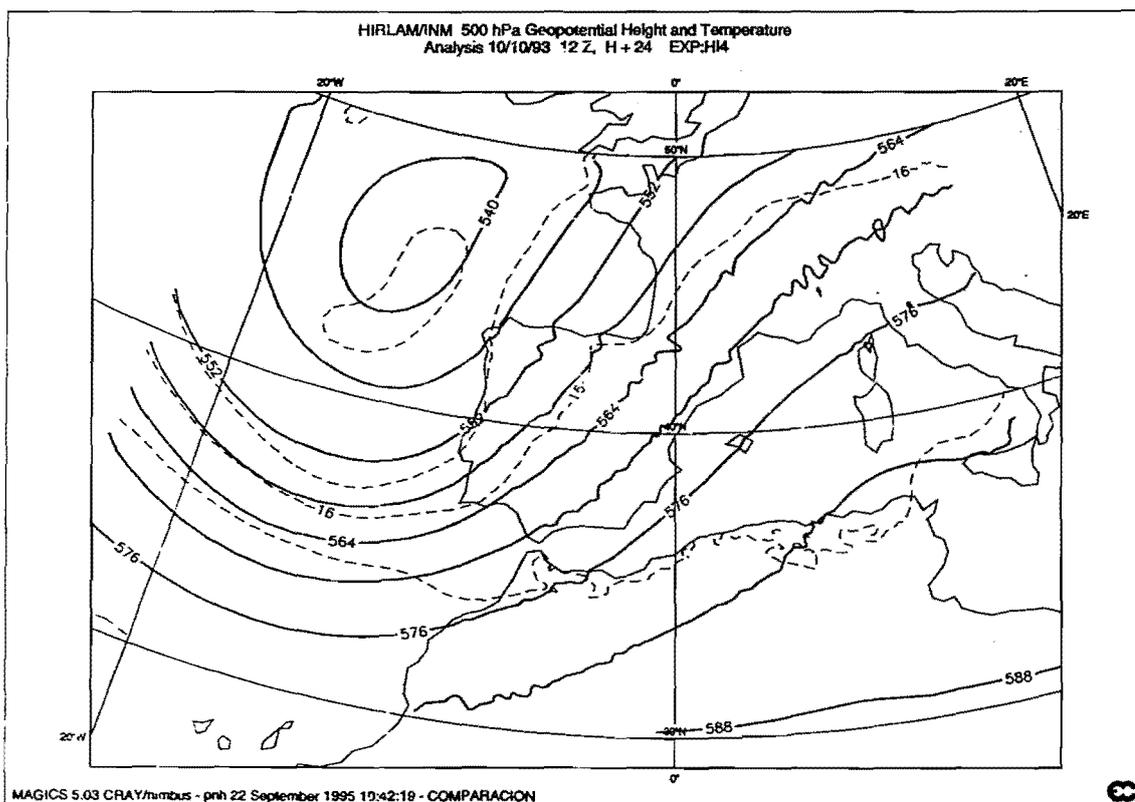
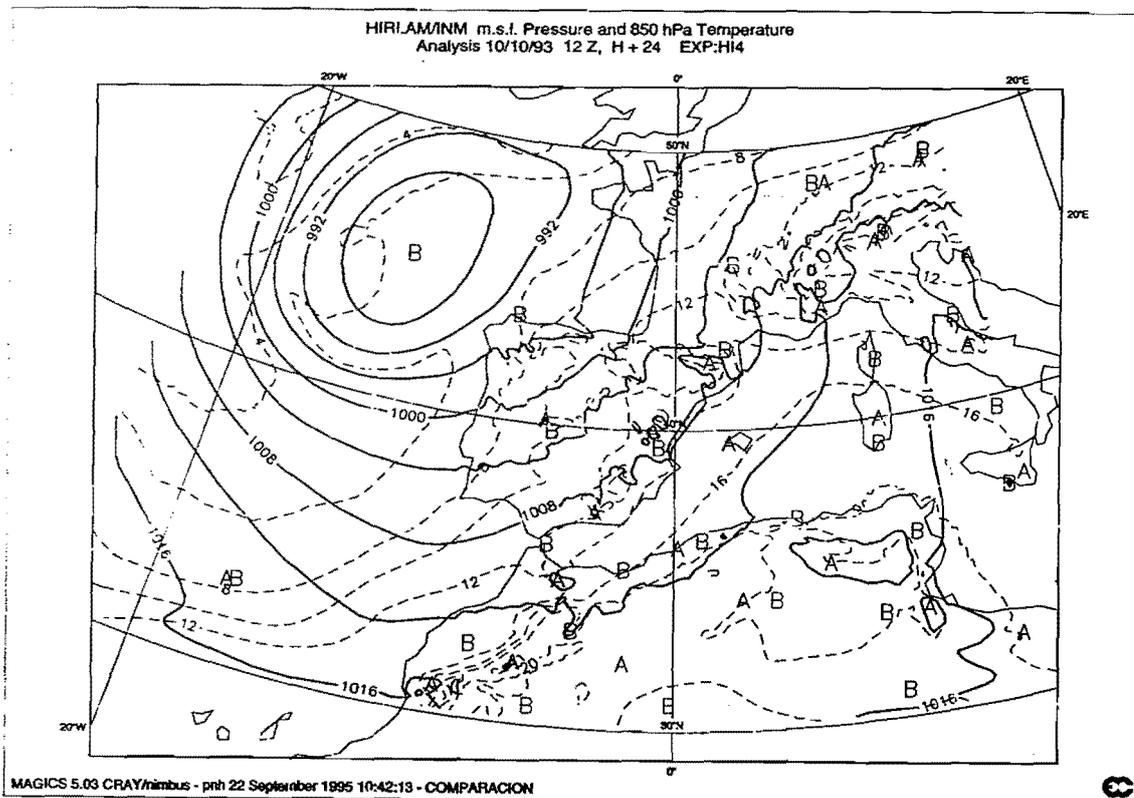


Figura 48.- En la parte superior, presión en superficie y temperatura en 850 mb del experimento HI4 y para el alcance H + 24. En la parte inferior, geopotencial y temperatura en 500 mb del mismo experimento y alcance.

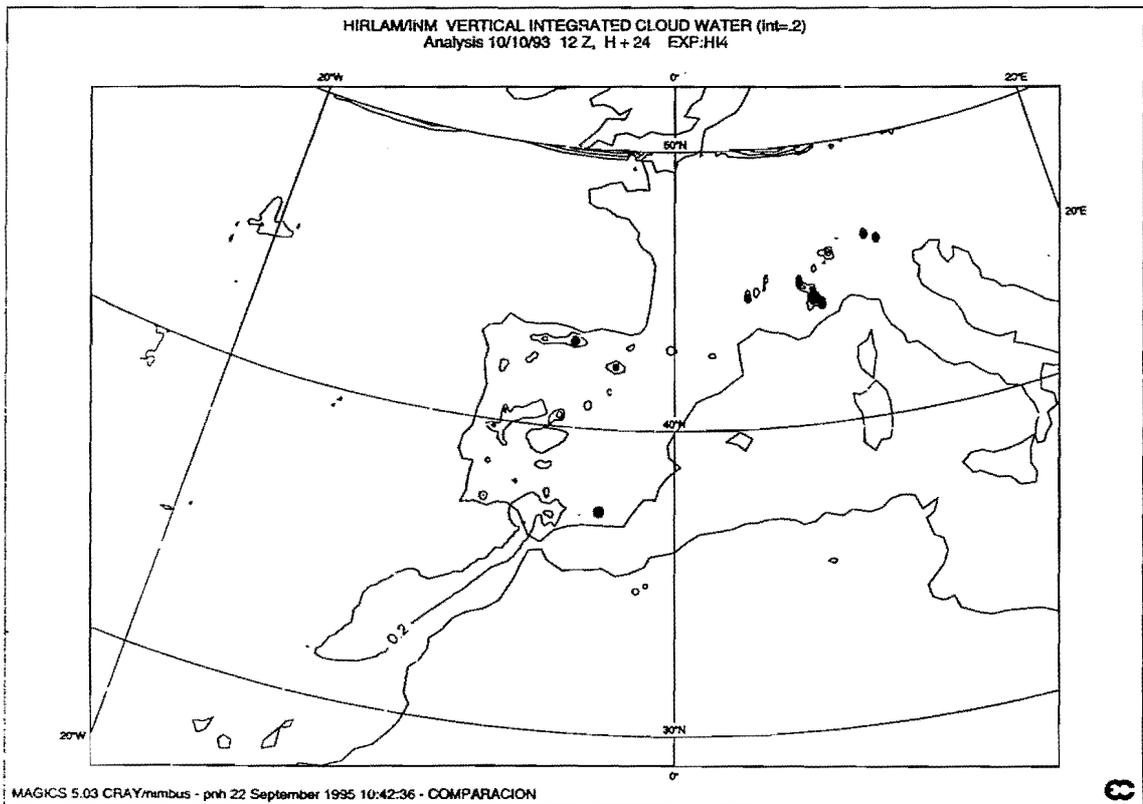
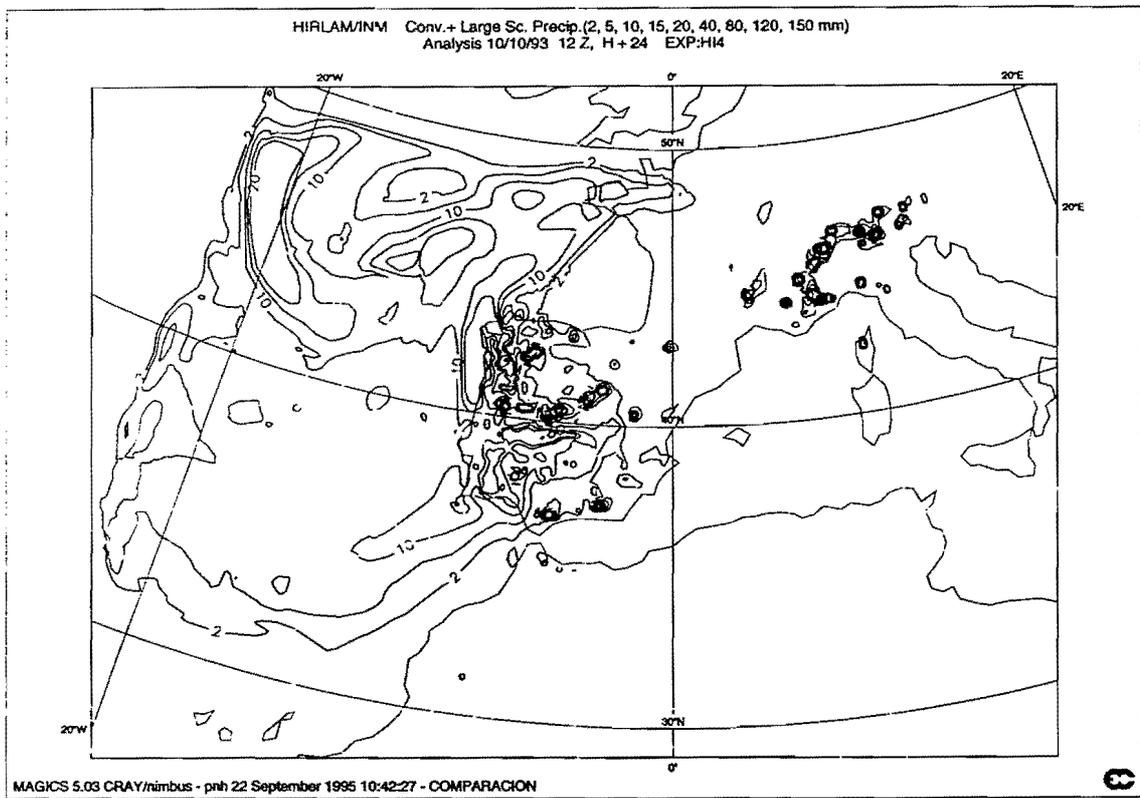


Figura 49.- En la parte superior, precipitación total del experimento H14 y para el alcance H+24. En la parte inferior, contenido de agua de nube para el mismo experimento y alcance.

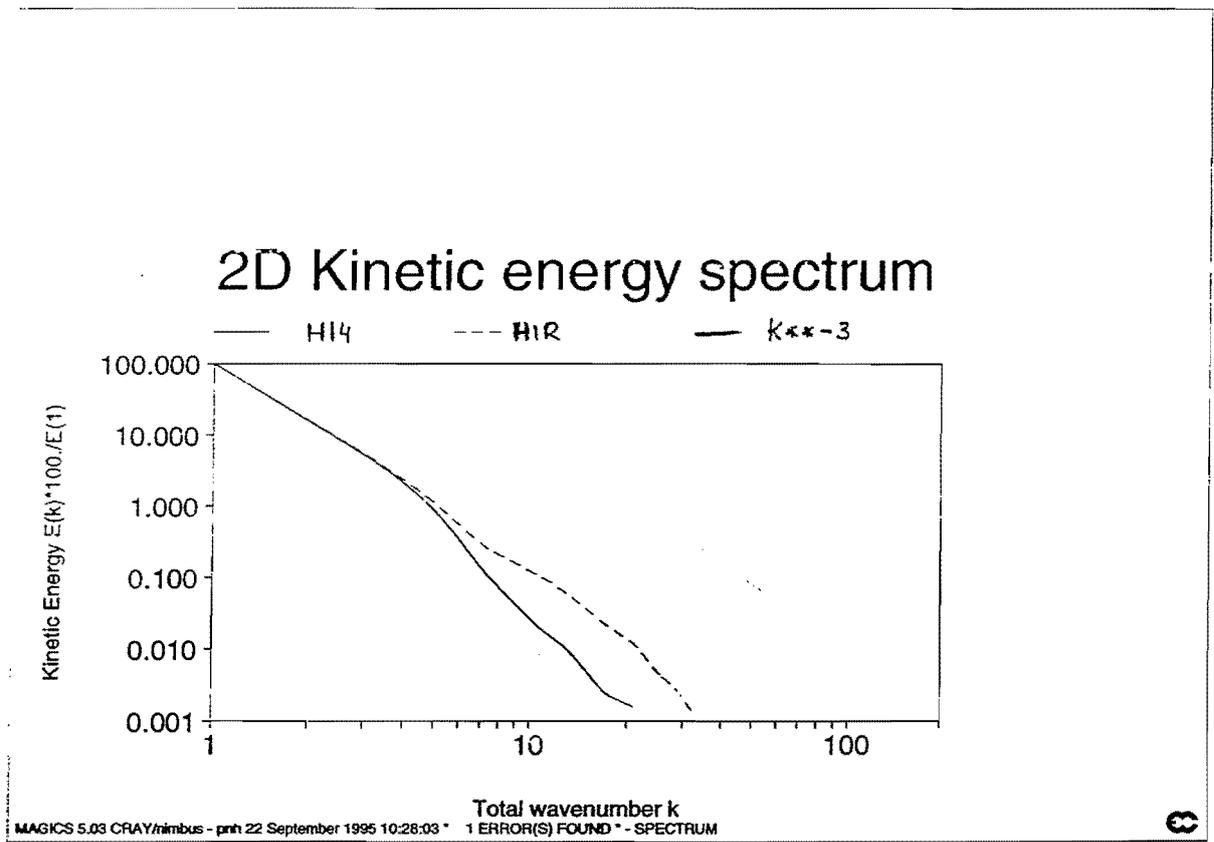


Figura 50.- Espectro relativo de la energía cinética promediada en todos los niveles. La línea continua representa el experimento HI4, la línea discontinua el experimento HID ó HIR y la línea de puntos el espectro teórico de la atmósfera.

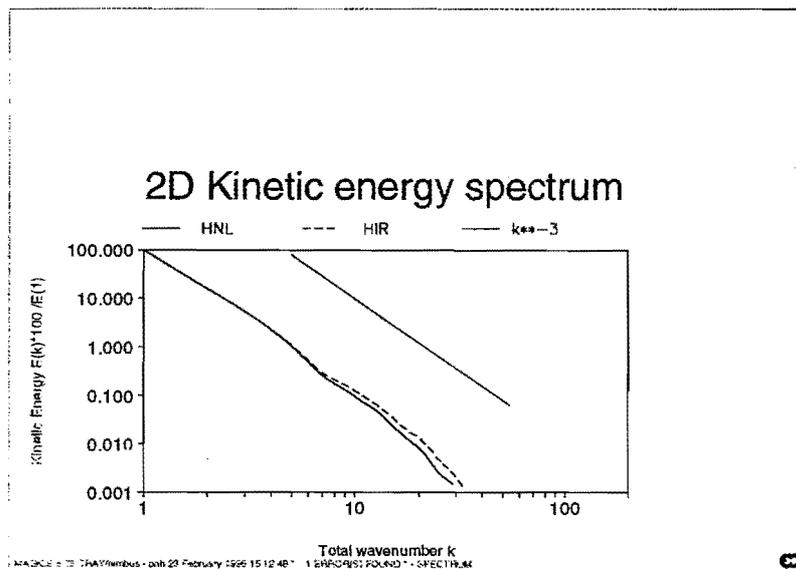
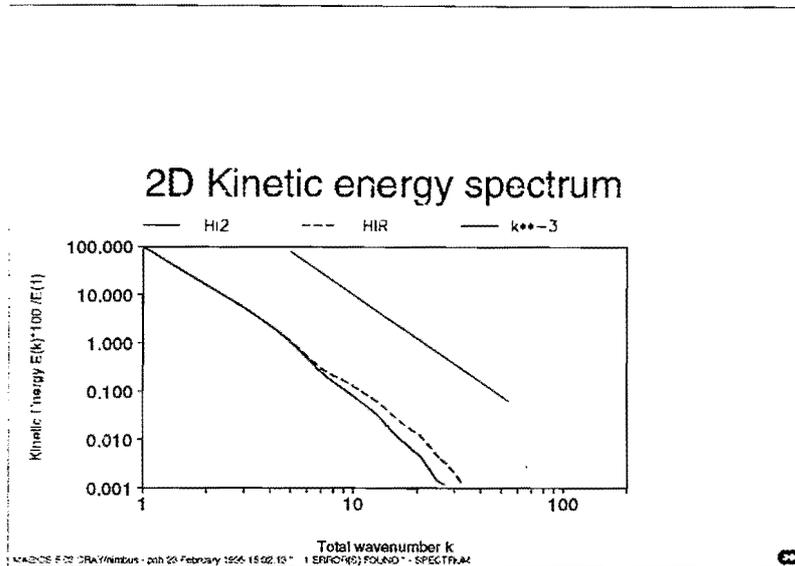


Figura 51.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2^o promediados para todos los niveles. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

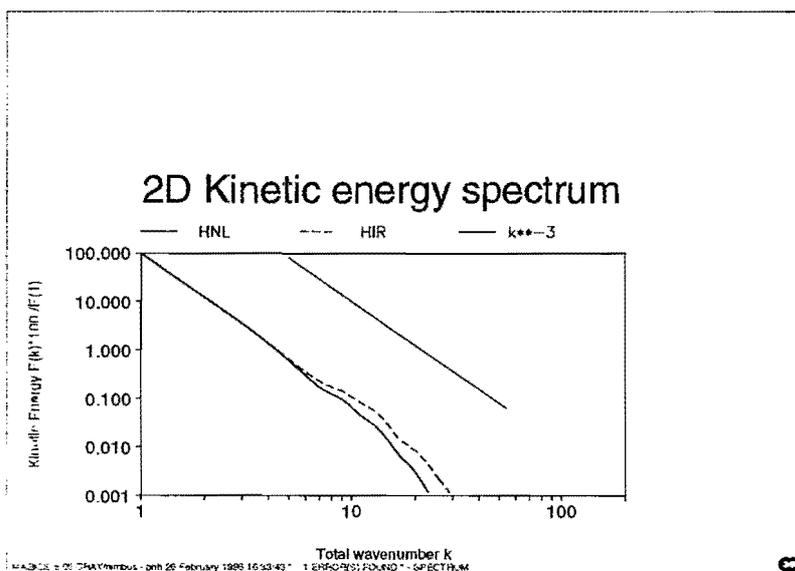
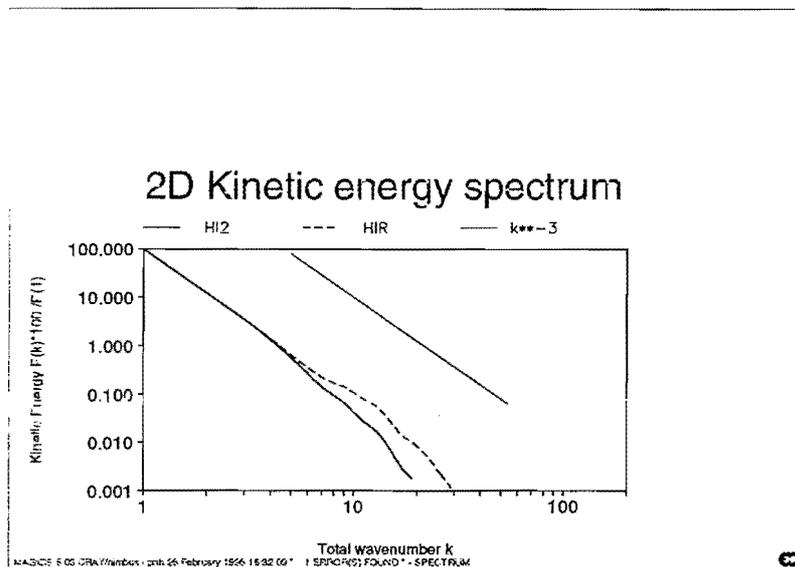


Figura 52.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2° promediados para los niveles superiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

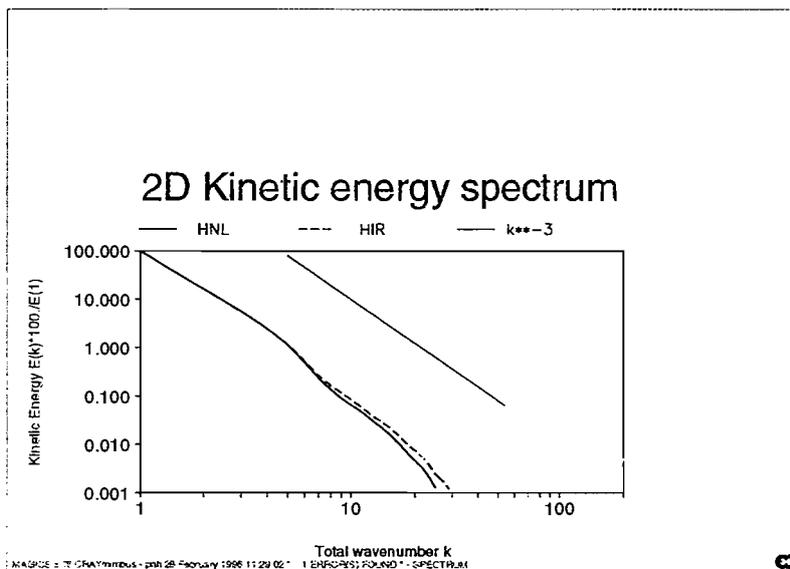
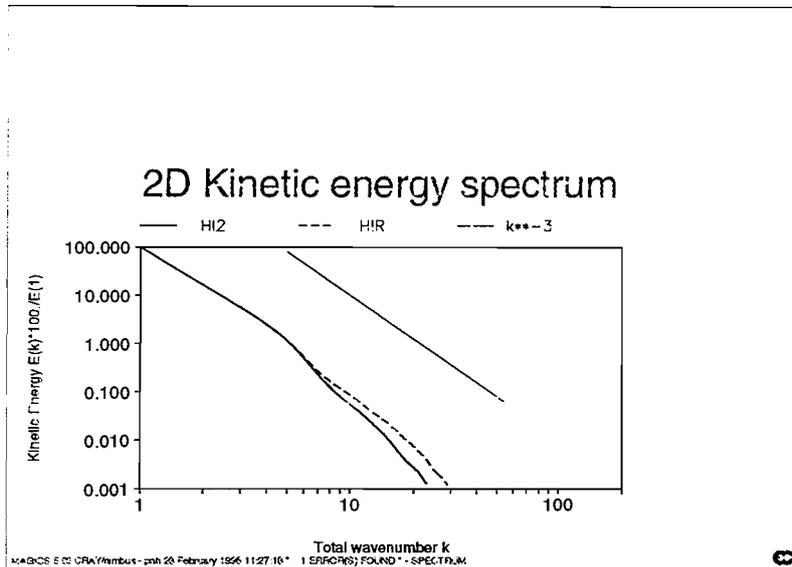


Figura 53.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2° promediados para los niveles intermedios. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

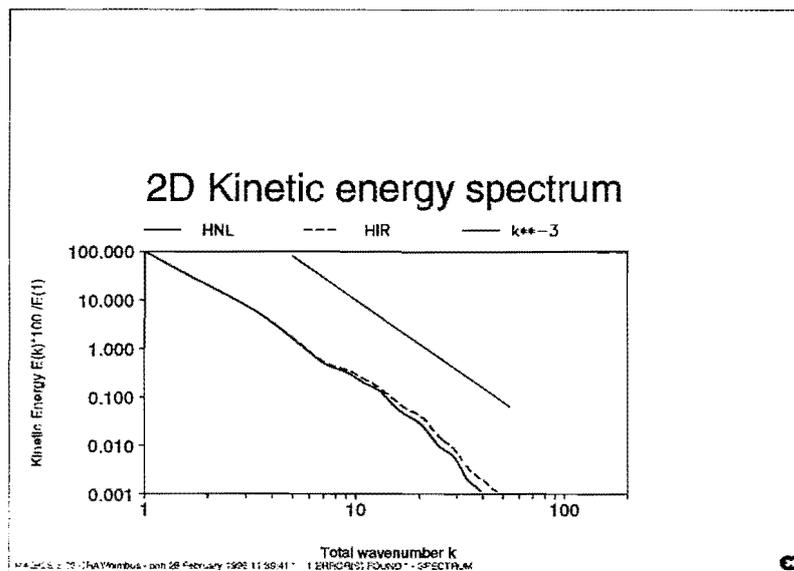
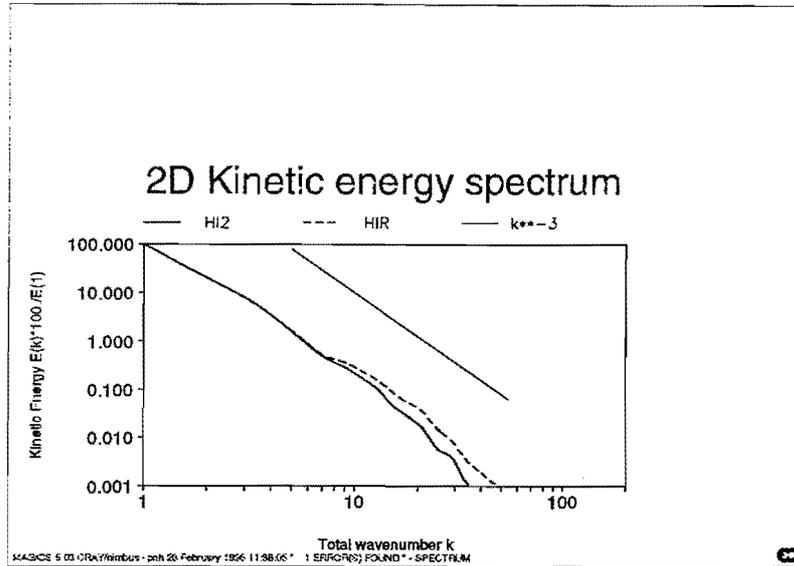


Figura 54.- Espectros relativos de energía cinética del modelo HIRLAMINM_0.2° promediados para los niveles inferiores. Las líneas continuas representan los experimentos implícitos, las líneas discontinuas el experimento HIR y la línea recta el espectro teórico de la atmósfera.

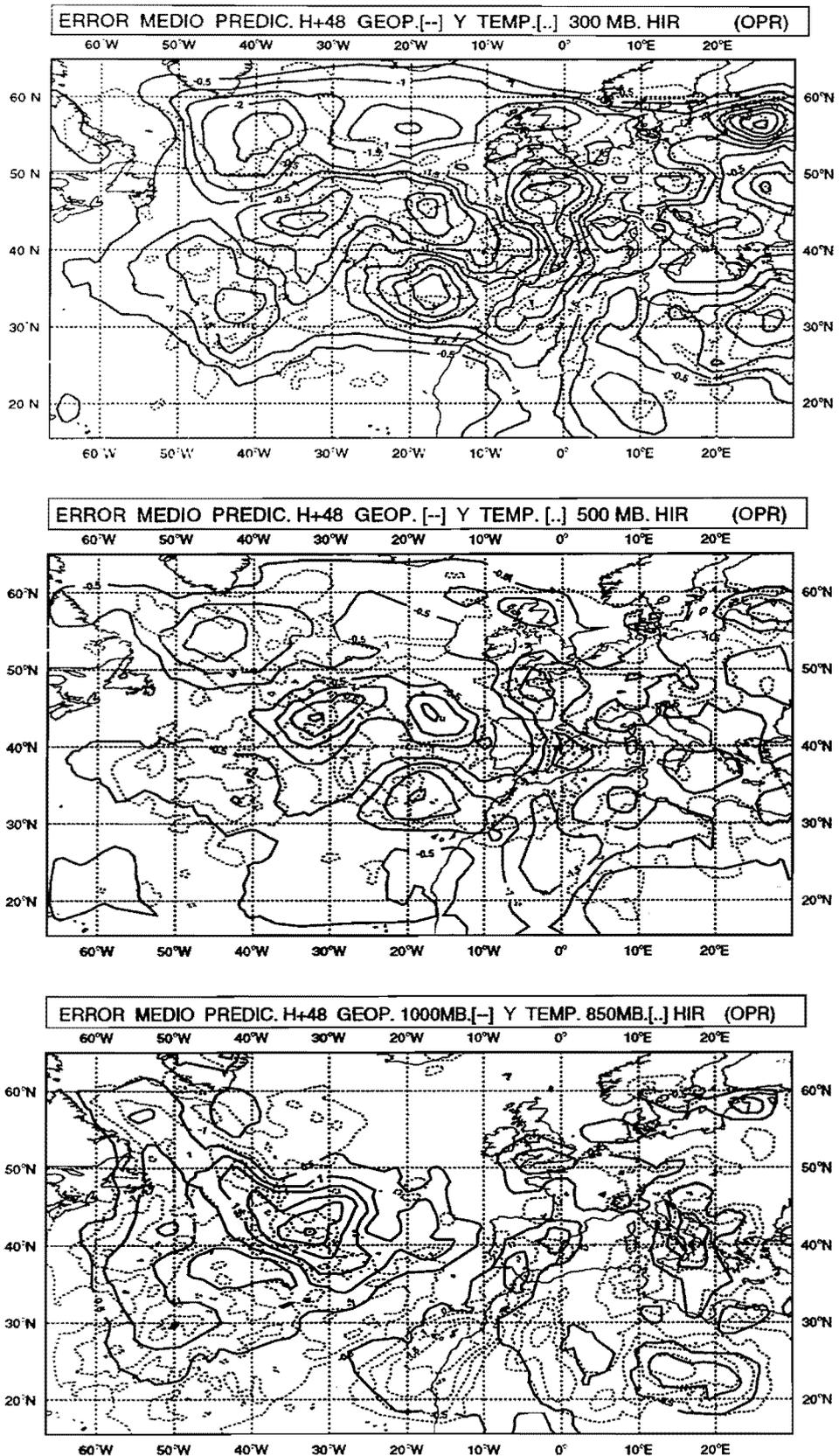


Figura 55.- Errores medios para el alcance H + 48 del experimento OPR de las siguientes variables: en la parte superior geopotencial y temperatura en 300 mb, en el centro geopotencial y temperatura en 500 mb y en la parte inferior geopotencial en 1000 mb y temperatura en 850 mb.

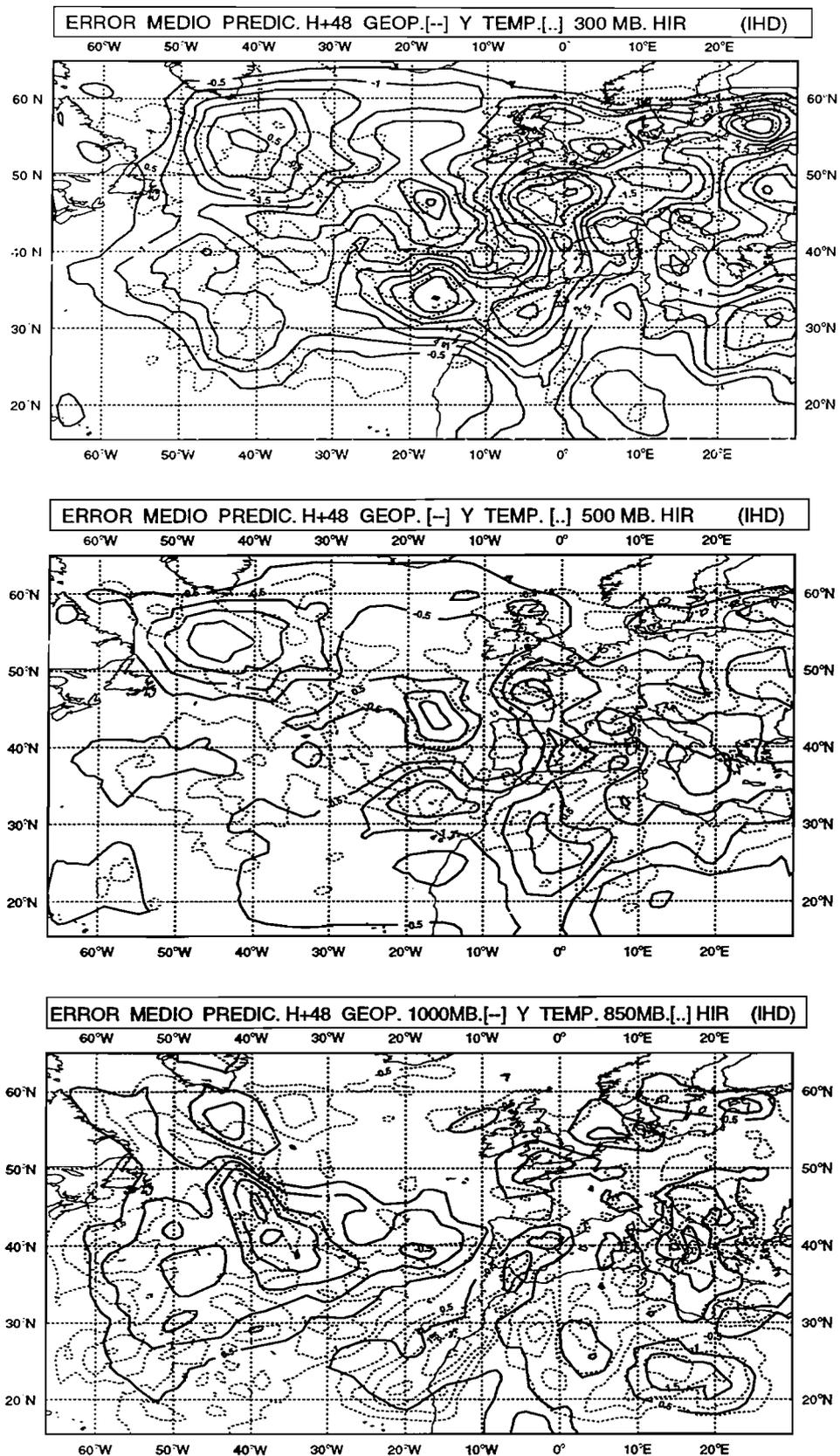


Figura 56.- Errores medios para el alcance H+48 del experimento IHD de las siguientes variables: en la parte superior geopotencial y temperatura en 300 mb, en el centro geopotencial y temperatura en 500 mb y en la parte inferior geopotencial en 1000 mb y temperatura en 850 mb.

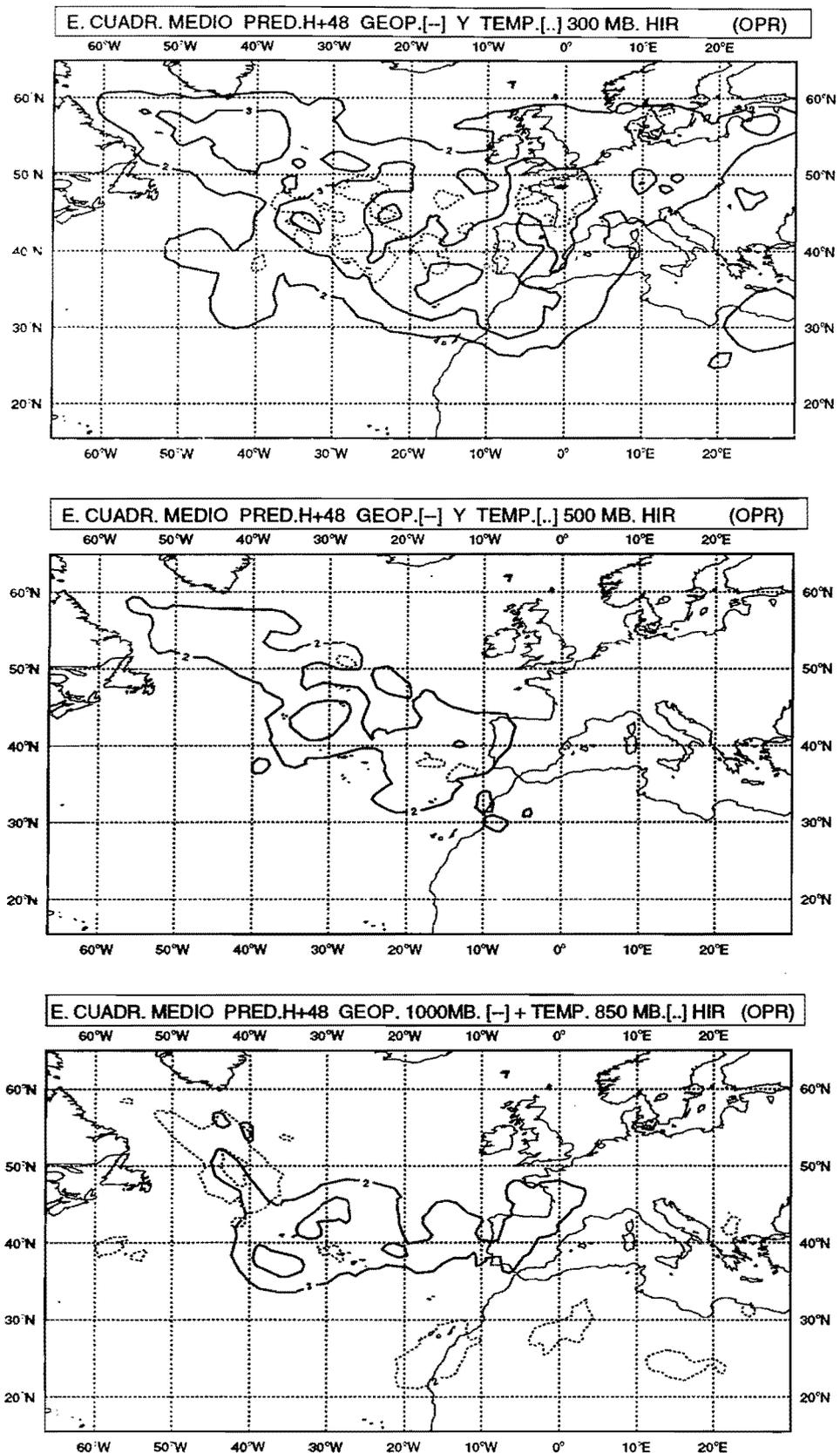


Figura 57.- Errores cuadráticos medios para el alcance H + 48 del experimento OPR de las siguientes variables: en la parte superior geopotencial y temperatura en 300 mb, en el centro geopotencial y temperatura en 500 mb y en la parte inferior geopotencial en 1000 mb y temperatura en 850 mb.

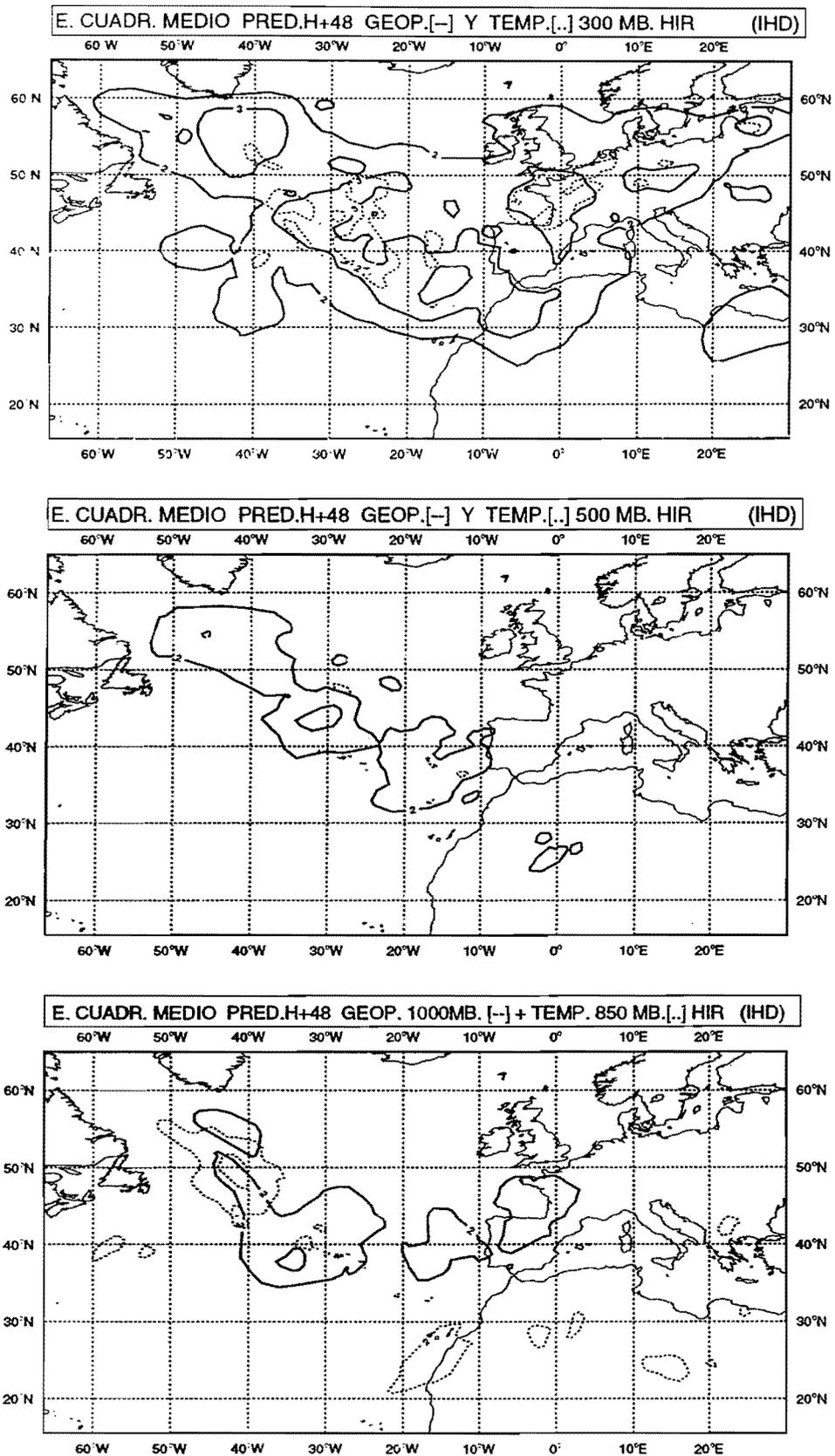


Figura 58.- Errores cuadráticos medios para el alcance H + 48 del experimento IHD de las siguientes variables: en la parte superior geopotencial y temperatura en 300 mb, en el centro geopotencial y temperatura en 500 mb y en la parte inferior geopotencial en 1000 mb y temperatura en 850 mb.

HIRLAM - exp. OPR

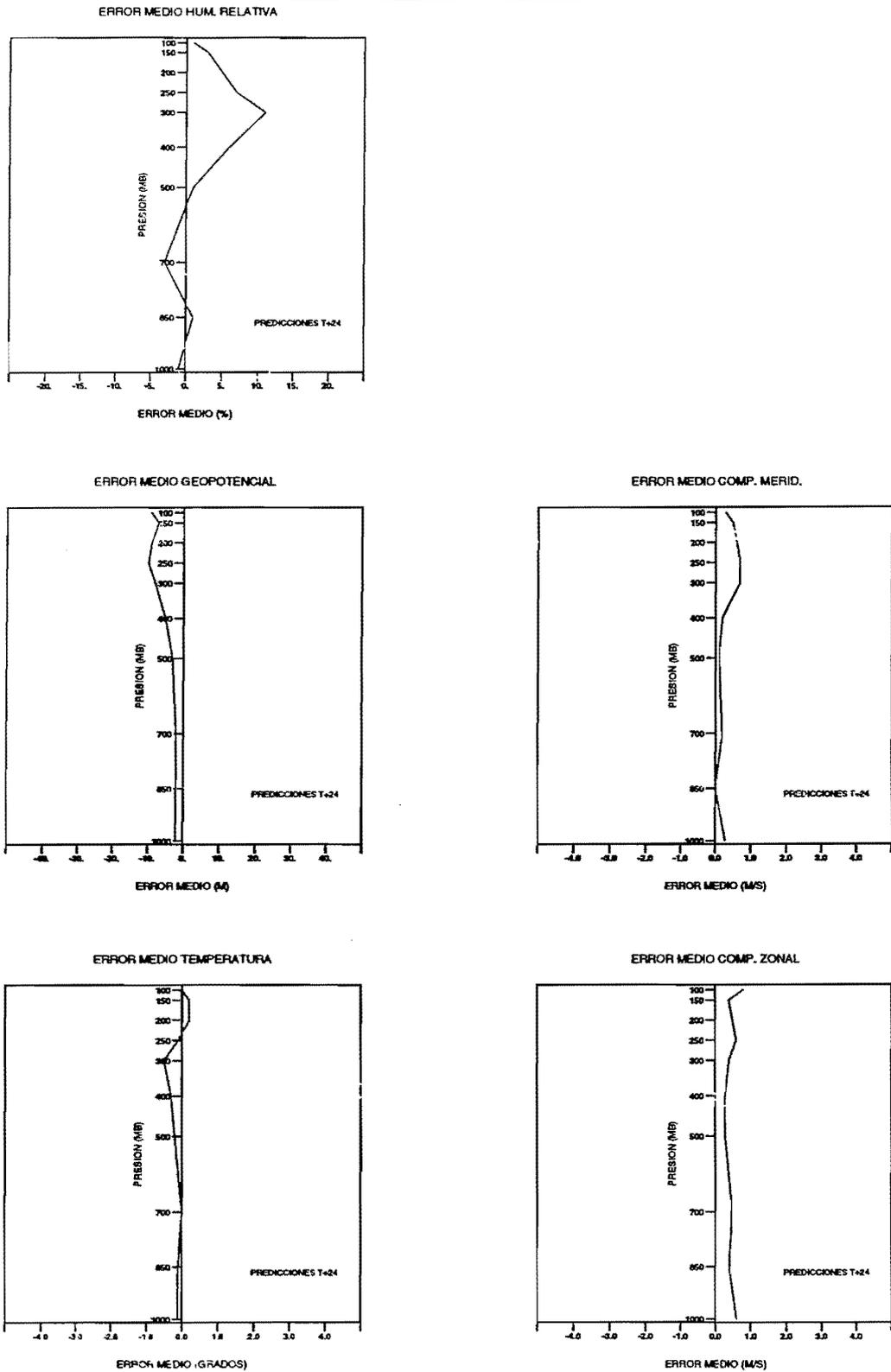


Figura 59.- Variación vertical de los errores medios para el alcance H + 24 del experimento OPR de las siguientes variables: humedad relativa, geopotencial, temperatura y componentes meridional y zonal del viento.

HIRLAM - exp.IHD

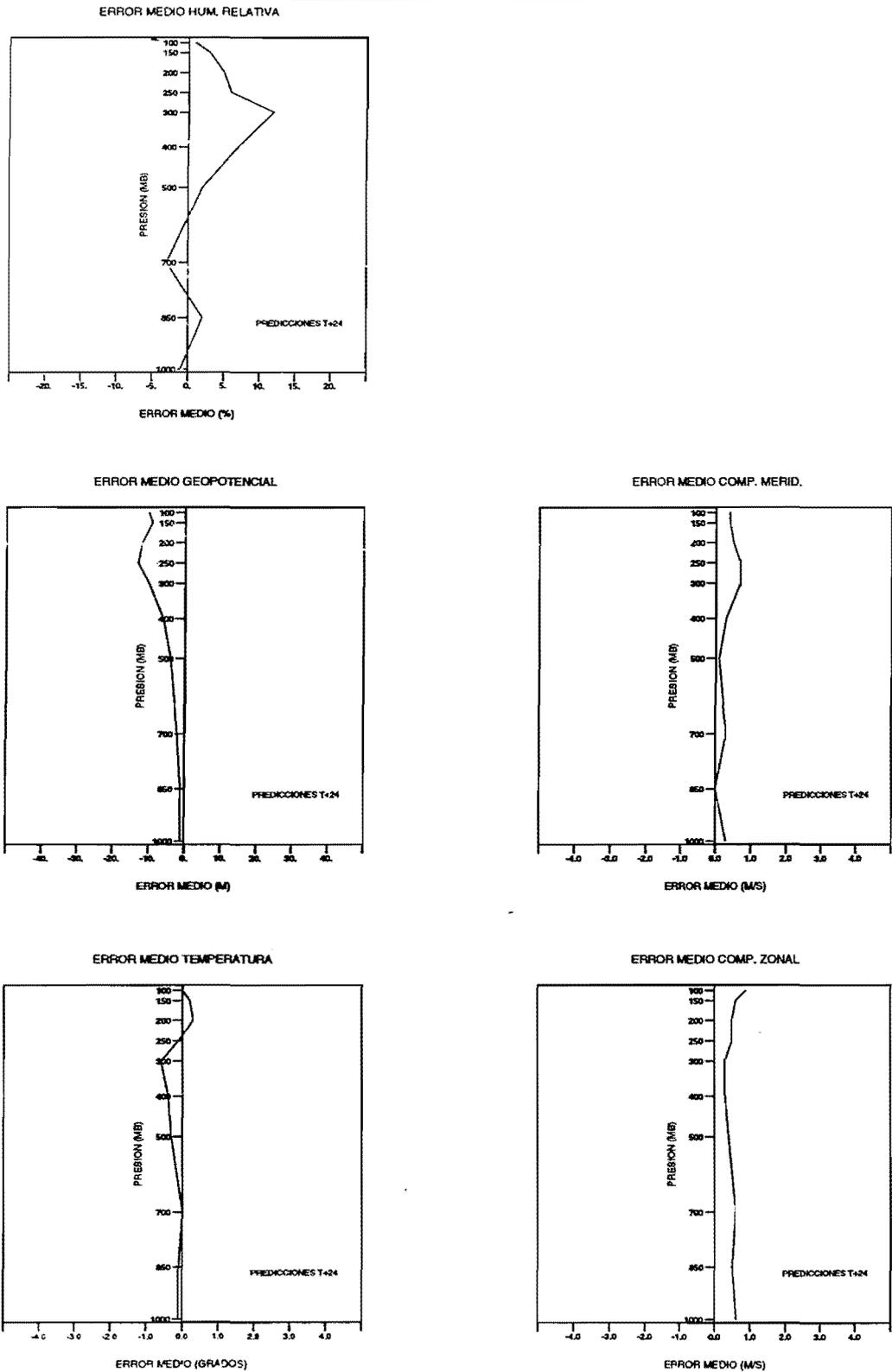


Figura 60.- Variación vertical de los errores medios para el alcance H + 24 del experimento IHD de las siguientes variables: humedad relativa, geopotencial, temperatura y componentes meridional y zonal del viento.