

CAPÍTULO IV

COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS OPERATIVOS

- IV.1 Predicción a plazo medio**
- IV.2 Comportamiento del EPS**
- IV.3 Predicción a corto plazo**
- IV.4 Comparación de los modelos con datos de
teledetección**
- IV.5 Comparación con los datos de estaciones
automáticas en Canarias**
- IV.6 Conclusiones parciales**

IV. COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS OPERATIVOS

Dado que en puntos anteriores de esta Nota Técnica se ha hecho una revisión de aspectos relativos a la descripción del marco sinóptico y del entorno mesoescalar en que se desarrolló la tormenta tropical Delta, en este capítulo se centrará en analizar hasta qué punto el comportamiento de los modelos operativos en el INM fue aceptable en cuanto a aquellas variables meteorológicas con mayor repercusión en el tiempo sensible en superficie, fundamentalmente la intensidad del viento, precipitación y posición y trayectoria seguida por la depresión. Otro aspecto que se puede tratar de analizar es cómo los modelos reproducen la aparición de las asimetrías, especialmente en los campos de viento y precipitación, asociadas a la fase de transición extratropical de una tormenta tropical. Según esto, cabría esperar vientos más intensos a la derecha de la trayectoria, y mayores intensidades de precipitación a la izquierda de la misma (Jones et al., 2003).

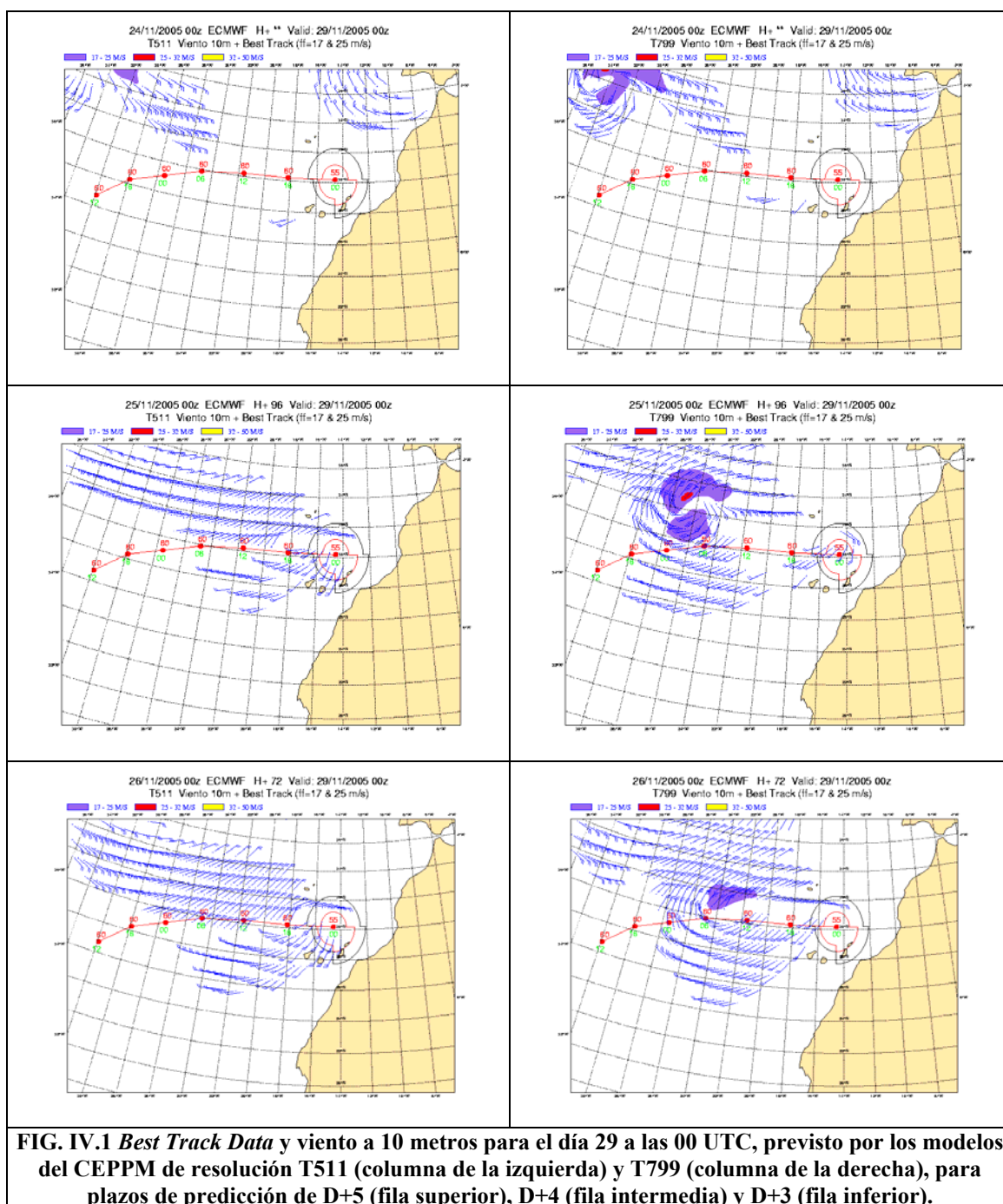
Para efectuar este análisis se va a tomar la referencia del *Best Track Data* generado por el CNH, como la mejor estimación del mínimo de presión en las posiciones correspondientes a cada hora de referencia (desde el día 27 a las 00 UTC hasta el día 29 a las 00 UTC), así como de los valores de vientos máximos y los radios estimados de vientos superiores a 17 m/s (depresión tropical) y a 25 m/s (huracán). Se van a contrastar con estos valores los campos de presión a nivel del mar, precipitación y viento a 10 m de los siguientes modelos y pasadas operativas:

- Modelos operativos del CEPPM con resolución T511 y T799, distintas pasadas desde las 00 UTC del día 24.
- Modelos del EPS (Ensemble Prediction System) del CEPPM con resolución T255 y T399, pasadas de las 00 de los días 25, 26 y 27.
- Modelo HIRLAM operativo con resolución 16 km (ONR), pasadas de las 12 UTC del día 27 y de las 00 UTC del día 28.
- Modelo HIRLAM operativo con resolución 5 km para el área de Canarias (CNN), pasada de las 00 UTC del día 28.

Tanto el modelo T799, que tiene una resolución de unos 20-25 km, como el EPS T399 estaban en fase de pruebas en noviembre de 2005 y, por tanto, no pudieron ser utilizados para realizar las predicciones de Delta. No obstante, es interesante evaluar su comportamiento al ser ya las versiones operativas actuales del modelo del CEPPM. En todas las gráficas se representan sólo las isobaras inferiores a 1004 hPa, a intervalos de 2 hPa, y los vientos superiores a 10 m/s, resaltando en color azul las áreas con vientos entre 17 y 25 m/s, en color rojo con vientos entre 25 y 32 m/s, y en amarillo las superiores a 32 m/s, salvo que se indique lo contrario.

En primer lugar se tratará de ver hasta qué punto los modelos operativos del CEPPM fueron capaces, o no, de anticipar la evolución de este fenómeno en el medio plazo (se centrará la atención en los plazos de predicción de 3 días hasta 5 días en adelante). También se hará lo mismo con distintas salidas del EPS del CEPPM. Posteriormente se verá el comportamiento en el corto plazo (predicciones de hasta 48 horas) de los modelos operativos del CEPPM y de las versiones operativas del HIRLAM, comparando también la evolución de los valores de mínimos de presión y de intensidades del viento entre los distintos modelos considerados y el *Best Track Data* del CNH. Finalmente, se comparan los patrones de viento y precipitación obtenidos por

los diferentes modelos con las observaciones efectuadas por sensores de satélites (TRMM y QuikSCAT), así como la evolución del viento previsto con el registrado en algunas estaciones automáticas de las Islas Canarias.



IV.1 Predicción a plazo medio

En la figura IV.1 se muestran las salidas para distintos periodos de predicción (D+3, D+4 y D+5) de diferentes pasadas de los modelo T511 y T799 del CEPPM; así se puede comparar la evolución de los vientos a 10 metros previstos para el día 29 de noviembre a las 00 UTC con el *Best Track Data* estimado por el CNH.

En cuanto a la intensidad de la depresión se puede ver que el modelo T511 apenas profundiza la depresión, e incluso para el D+5 ni siquiera la llega a desarrollar, como se aprecia también en la tabla IV.1. En este caso se tienen unos vientos por debajo del umbral de 17 m/s alrededor de la depresión, así como en un área próxima a Canarias. Por otro lado, subestima la intensidad, observándose gradientes no demasiado fuertes, así como vientos que en ningún caso llegan a los 17 m/s.

Por su parte, el modelo T799 profundiza la depresión de manera adecuada en estos plazos de predicción, desarrollando vientos claramente superiores al umbral de 25 m/s. Si tenemos en cuenta la posición de la depresión, aspecto fundamental en cuanto a la predicción de un sistema de este tipo, vemos en la figura anterior, y en las tablas IV.1 y IV.2, que el modelo T511 tiene unos errores pequeños en cuanto a la posición de la baja, del orden de unas 100 millas náuticas (185 km). El modelo T799, que parece que intensifica la depresión de una manera más realista, por el contrario presenta unos errores, en cuanto a la posición de la misma, bastante grandes, llegando a ser superiores a 1000 millas náuticas (1850 km) en el plazo de predicción del D+5. Esto conlleva que aunque aparecen vientos muy intensos alrededor de la depresión, nos encontremos que en las proximidades de las Islas Canarias los vientos previstos no sean significativamente intensos.

Alcance	Error posición	P mín	V máx	V máx Canarias
D+5	-	-	-	10.5
D+4	88 (163)	1003	16.5	15.8
D+3	119 (220)	1002	15.8	15.2
D+2	100 (185)	997	16.9	15.0
D+1	88 (163)	995	21.2	17.8

Tabla IV.1 T511 válido el 29 a 00 UTC. Errores de posición en millas náuticas (y km) comparando con *Best Track Data*, presión mínima (en hPa) y vientos máximos (m/s) en la depresión y en las cercanías de Canarias.

Alcance	Error posición	P mín	V máx	V máx Canarias
D+5	1213 (2246)	985	26.8	13.1
D+4	729 (1350)	986	26.7	11.3
D+3	533 (987)	998	23.1	12.0
D+2	167 (309)	996	19.0	18.4
D+1	118 (218)	983	32.2	21.7

Tabla IV.2 T799 válido el 29 a 00 UTC. Errores de posición en millas náuticas (y km) comparando con *Best Track Data*, presión mínima (en hPa) y vientos máximos (m/s) en la depresión y en las cercanías de Canarias.

IV.2 Comportamiento del EPS

Antes de nada, hay que hacer notar que el EPS es un modelo que, a partir de cincuenta más un escenarios de evolución, permite generar productos probabilísticos. Todos los escenarios de evolución parten de estados o condiciones iniciales diferentes pero muy

próximos entre si y todos ellos son equiprobables. Frente a un escenario de evolución del modelo determinista T799 o T511, en el modelo del EPS se disponen de 51 escenarios evolutivos diferentes.

En este apartado se van a comentar fundamentalmente algunas de las conclusiones que aparecen en el informe del Departamento de Operaciones del CEPPM (García-Méndez and Prates, 2006). En el EPS operativo, sólo para el D+1 y D+2 aparece un número significativo de miembros que apoye la predicción determinista y, por tanto, sugiriendo una probabilidad alta de que Delta afecte a Canarias. Por otra, sólo a partir del D+2 algunos miembros indican la que Delta puede alcanzar vientos de 25 m/s.

El EPS experimental, T399, se comportó mejor que el operativo, produciendo bajas más profundas y generando un número significativo de miembros que sitúan una depresión en las proximidades de Madeira y de las Islas Canarias. En contraste con la predicción determinista que sólo sitúa a Delta en la proximidad de Canarias a partir del D+2, el EPS T399 presenta el 28% de los miembros entre Canarias y Madeira a partir del D+4.

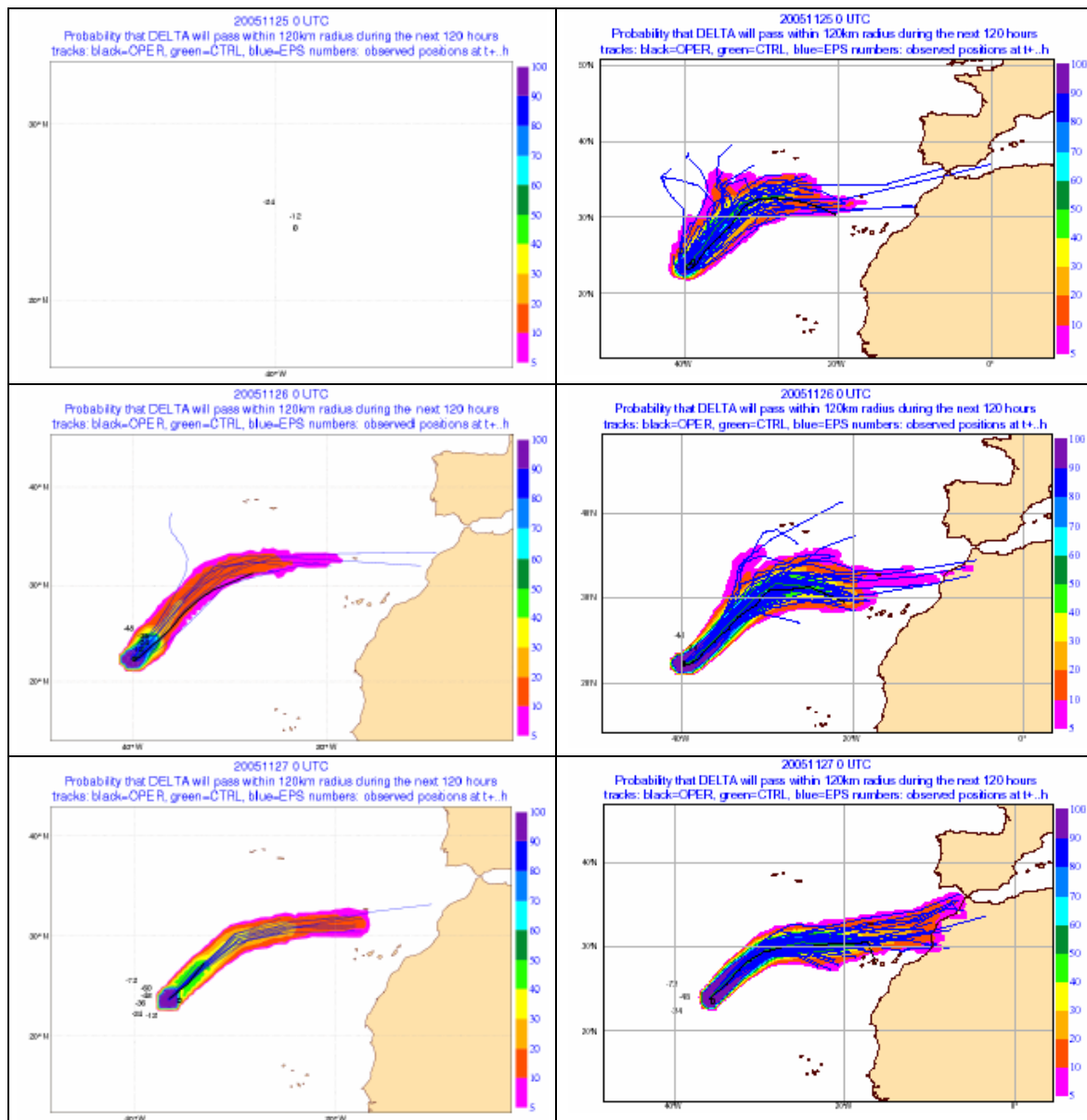


FIG. IV.2 Predicción de las trayectorias para Delta según las salidas del modelo EPS operativo T255 (columna de la izquierda) y del de resolución T399, para las pasadas de las 00 UTC de los días 25 (fila superior), 26 (fila intermedia) y 27 de noviembre (fila inferior).

Otras salidas de interés del EPS son las probabilidades de rachas de viento en superficie superiores a ciertos umbrales. En este caso se obtienen probabilidades del 10% de rachas superiores al umbral de 25 m/s sobre Canarias, como se puede ver en la figura IV.3, siendo interesante destacar la mejora que supone el uso del EPS de resolución T399, en cuyo caso se aprecian unas áreas bastante extensas con probabilidades del 40% de rachas mayores de 25 m/s sobre Canarias. A partir del EPS también se puede obtener el EFI, Extrem Forecast Index (Lalauette, 2002), que es una medida de la distancia entre la distribución de la probabilidad de la predicción EPS y la distribución climática del EPS y representa, por lo tanto, la probabilidad de que un determinada variable meteorológica (precipitación, viento, temperatura,...) alcance valores extremos con relación a la climatología del propio modelo. En este caso, el EFI obtenido con el T399 para las rachas de viento desde un D+4 para el día 29 de noviembre a las 00 UTC

alcanza valores que ponen de manifiesto cierto riesgo de que en el área de Canarias los vientos llegasen a ser bastante intensos, como se puede ver en la figura IV.4.

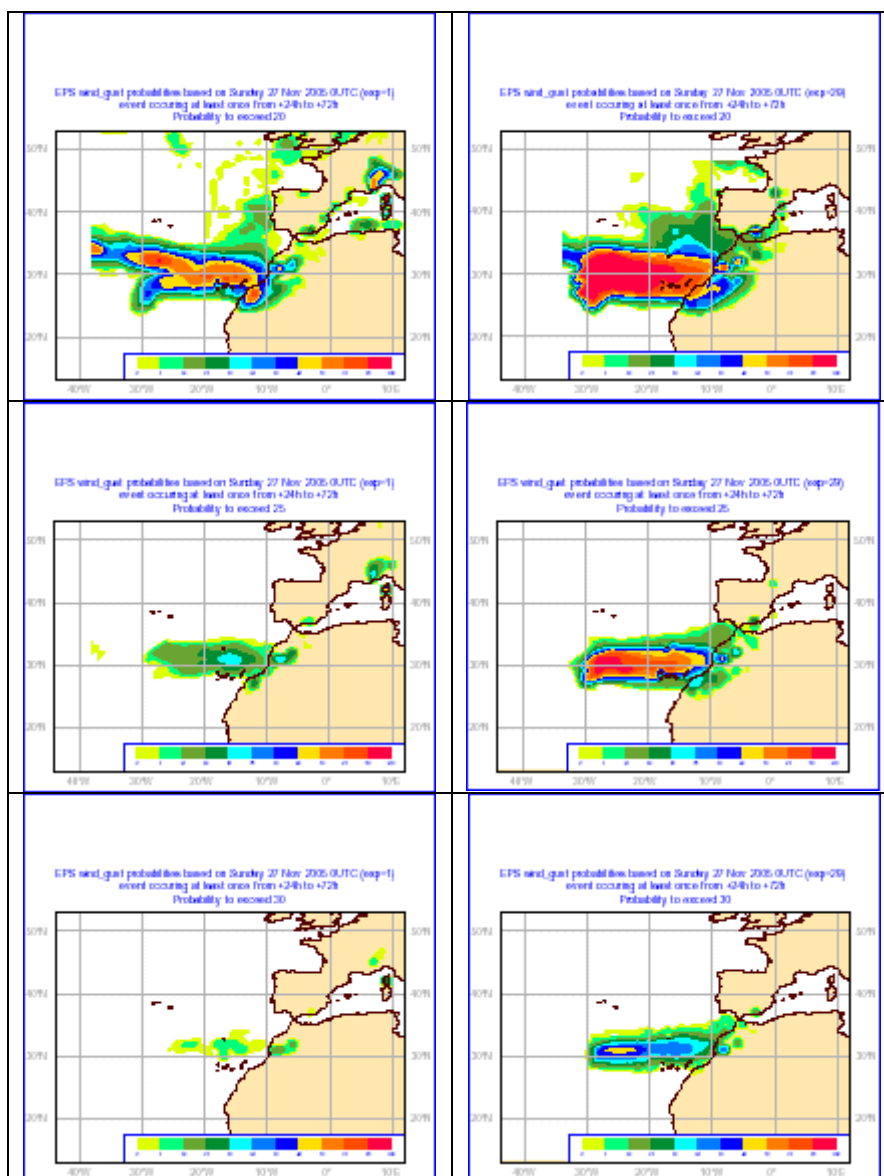
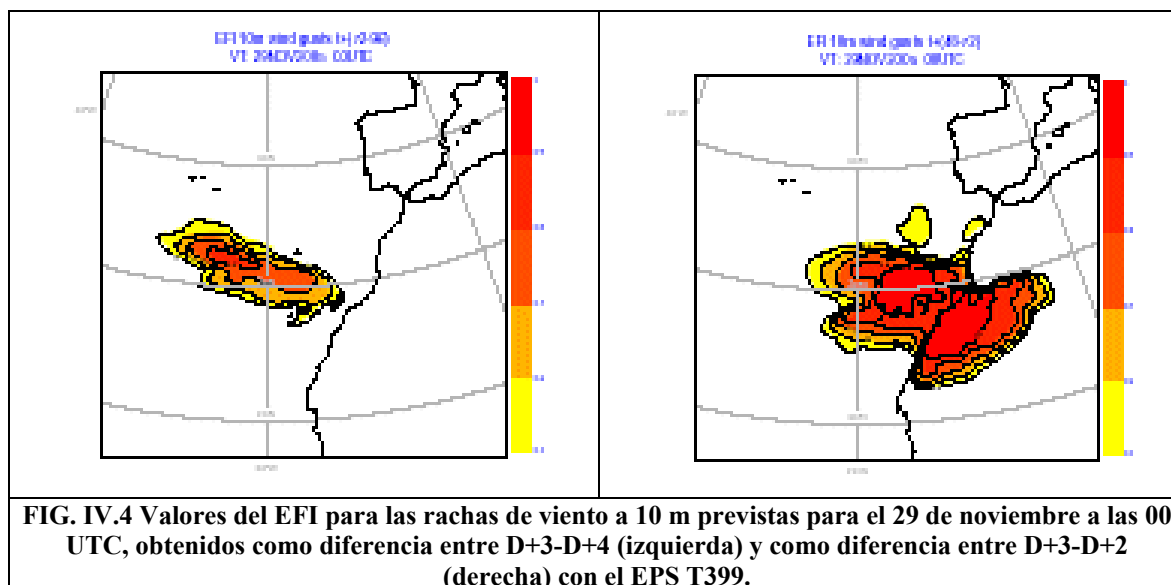
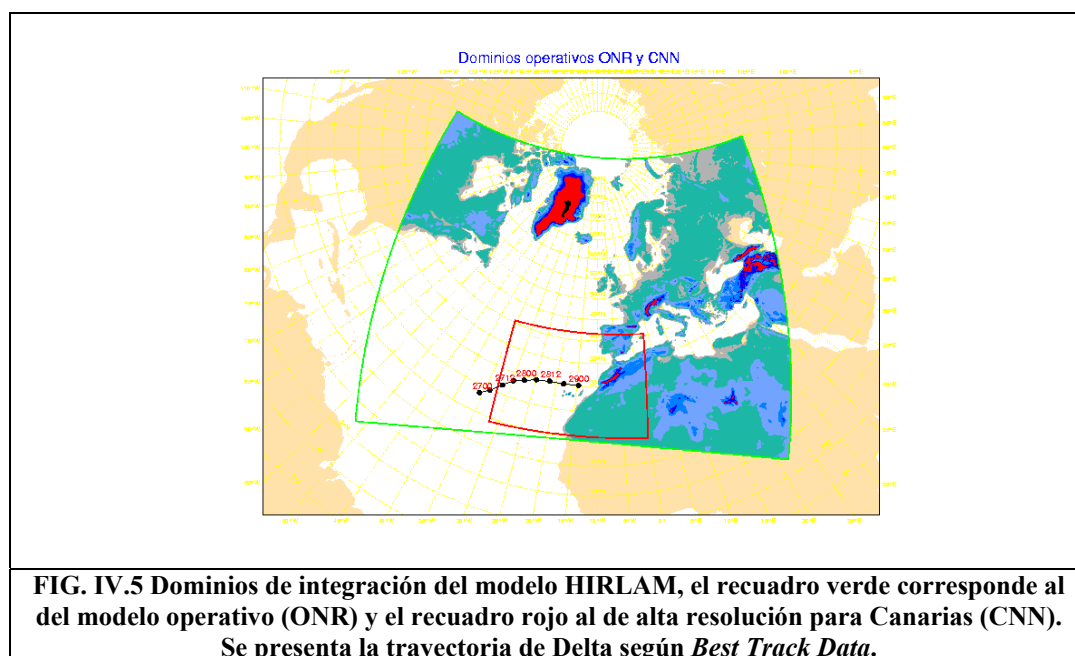


FIG. IV.3 Probabilidades de rachas de viento a 10 metros para D+1 a D+3 que excedan 20 (fila superior), 25 (fila intermedia) y 30 m/s (fila inferior) a partir de las salidas del EPS operativo T255 (columna de la izquierda) y del de resolución T399, para las pasadas de las 00 UTC del día 27 de noviembre.



IV.3 Predicción a corto plazo

Este apartado se focalizará en las predicciones hasta el periodo H+48 de los modelos del CEPPM revisados en el punto IV.1 y en las del modelo HIRLAM operativo (ONR) y HIRLAM de alta resolución para Canarias (CNN). Así como los modelos del CEPPM son modelos globales, las distintas versiones del modelo HIRLAM son de área limitada, abarcando los dominios geográficos que se pueden ver en la figura IV.5, aunque tienen su propio ciclo de asimilación.



Se tendrán en cuenta las salidas generadas a partir de los análisis del día 27 a las 00 UTC, del 27 a las 12 UTC y del 28 a las 00 UTC por los modelos T511 y T799 del CEPPM, del día 27 a las 12 UTC y del 28 a las 00 UTC por el modelo ONR, y del 28 a las 00 UTC por el CNN. Desde el punto de vista de las predicciones operativas hay que tener en cuenta que las predicciones del modelo de área limitada están disponibles unas 10 horas antes que las del modelo global. En la figura IV.6 se comparan las

trayectorias obtenidas a partir de los modelos del CEPPM con la trayectoria estimada por el *Best Track Data*, y en la figura IV.7 se tiene la misma comparación para las salidas del ONR y del CNN.

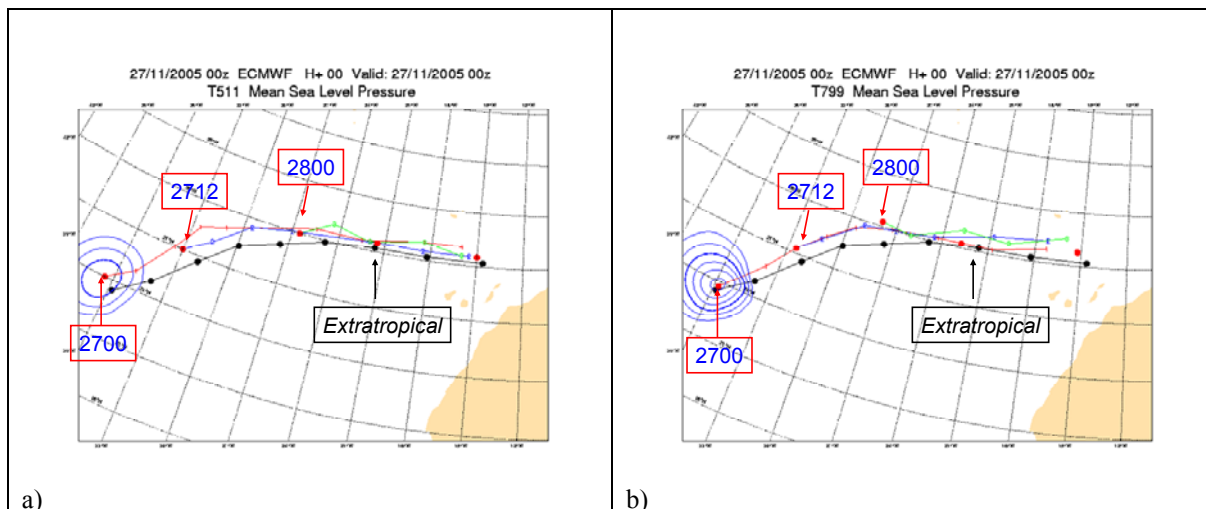


FIG. IV.6 Trayectorias de la depresión obtenidas por: a) modelo operativo CEPPM T511 partiendo de tres análisis distintos y b) modelo CEPPM T799. Los puntos rojos son análisis del modelo y los puntos y línea negra corresponden al *Best Track Data*. DDHH representa el día y hora del inicio de la pasada: 27 a las 00 línea roja, 27 a las 12 azul y 28 a las 00 verde.

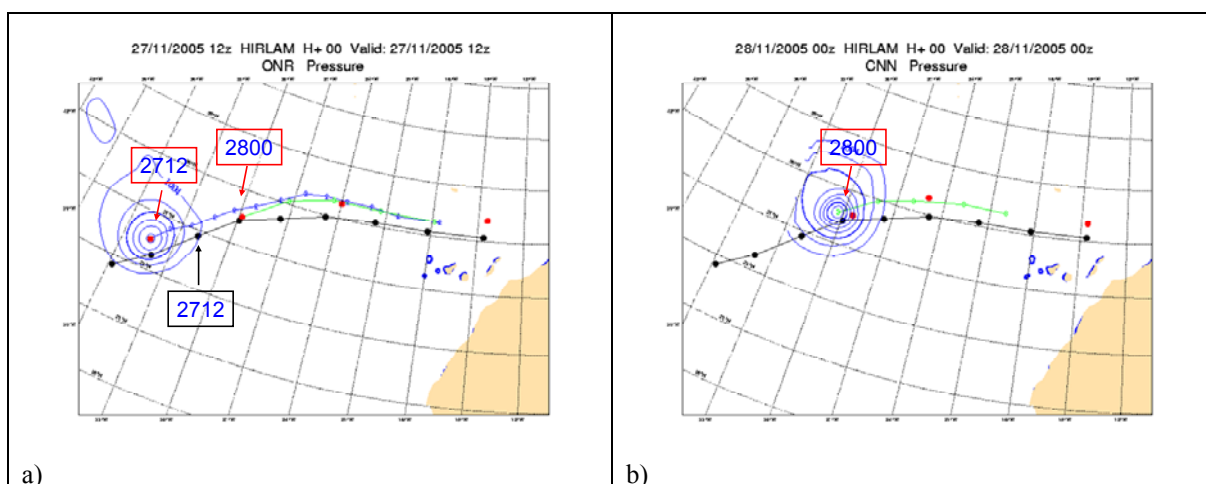


FIG. IV.7 Trayectorias de la depresión obtenidas por: a) modelo operativo ONR y b) versión 5 km para Canarias, CNN. Los puntos rojos son análisis del modelo y los puntos y línea negra corresponden al *Best Track Data*. DDHH representa el día y hora del inicio de la pasada: 27 a las 00 línea roja, 27 a las 12 azul y 28 a las 00 verde.

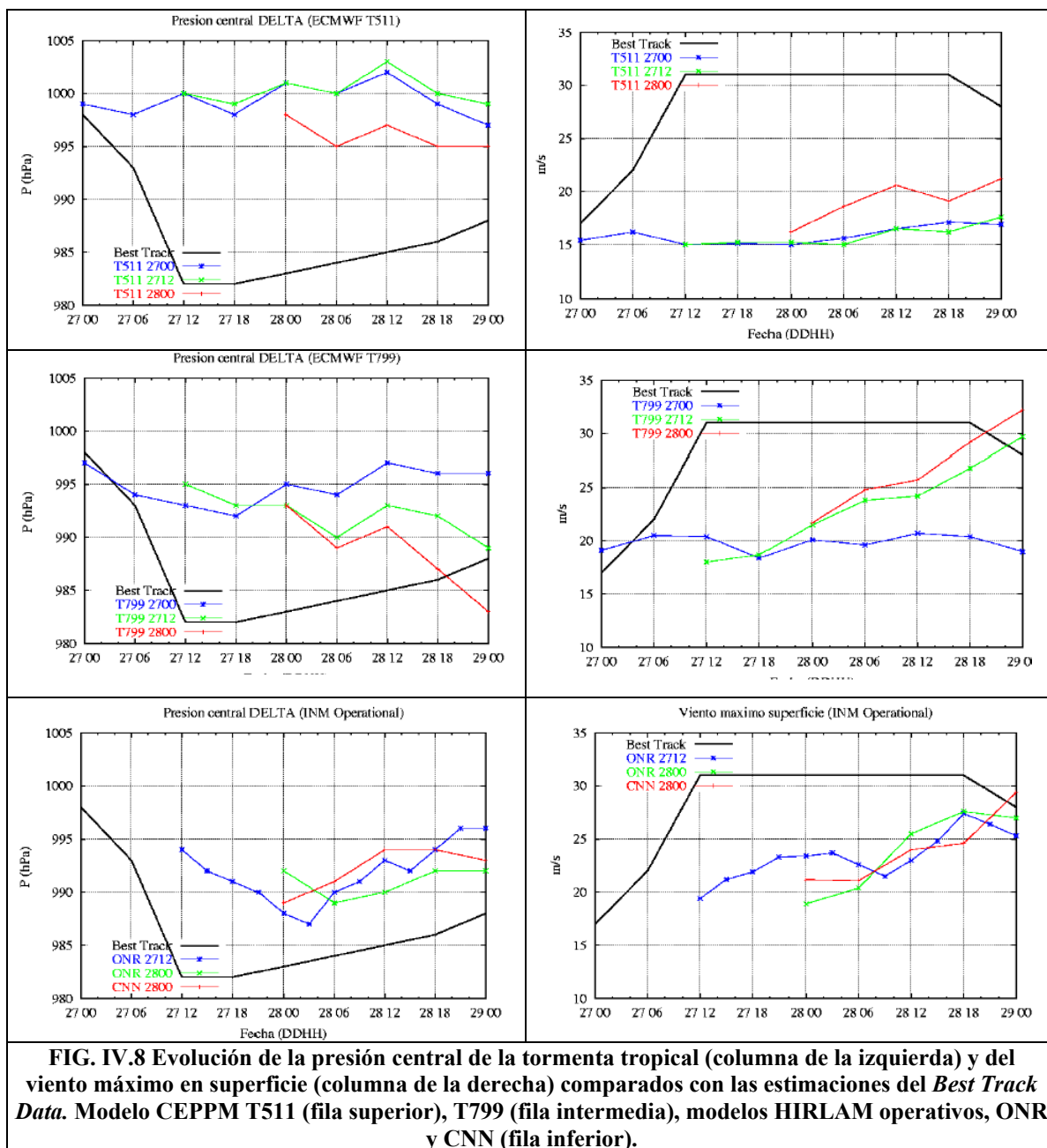
Como se puede ver en las figuras anteriores, en la tabla IV.3 y en la figura IV.8, todas las integraciones sitúan el centro de la baja ligeramente hacia el norte pero los mayores errores en la posición son debidos a un retraso en su llegada a Canarias que es de unas 9 horas para CNN, 5-9 horas para ONR, 3-5 horas para T799 y 3 horas para T511. Probablemente, los mayores errores en la posición de las integraciones HIRLAM provienen de unos mayores errores en los análisis de partida. Los mayores errores los presentan las integraciones a 5 km, CNN, en las cuales la depresión está dentro del área de integración sólo a partir del D+1.

Los cambios en la intensidad no se predicen bien en ninguno de los modelos. Las integraciones de área limitada predicen mejor la evolución del mínimo de presión y el

máximo de viento que el modelo operativo global T511. A pesar de los mayores errores en la posición de la baja, las integraciones HIRLAM dan unos vientos sobre Canarias más realistas. Parece que CNN tampoco mejora la intensidad respecto a las integraciones ONR de 16 km. La versión experimental T799 produce una depresión mucho más profunda y unos vientos más fuertes que los de la versión T511 y la pasada T799 del 28 00 UTC tiende a profundizar demasiado la baja.

Modelo	Alcance	Error posición (ana)	P mín	V máx	V máx Canarias
T511	D+2	100 (53)	997	16.9	15.0
	D+1	88(83)	995	21.2	17.8
T799	D+2	167(16)	996	19.0	18.4
	D+1	118(70)	983	32.2	21.7
	D+2	333(113)	991	29.3	16.6
ONR	D+1.5	209(171)	996	25.3	18.0
	D+1	203(147)	992	27.0	21.0
CNN	D+1.5	297(-)	998	29.4	15.2
	D+1	332(177)	993	25.2	17.1

Tabla IV.3 Errores en millas náuticas comparando con *Best Track Data* para predicciones válidas el 29 a 00 UTC. Entre paréntesis los errores de los respectivos análisis, también se indica: presión mínima (hPa), viento máximo asociado a la baja (m/s), y viento máximo alrededor de Canarias (en m/s en la zona 27/30 N y 12/18 O).



IV.4 Comparación de los modelos con datos de teledetección

En la figura IV.9 se pueden comparar las salidas del campo de precipitación prevista por los modelos para el día 29 a las 00 UTC, cuando Delta era ya una tormenta extratropical, con las imágenes TRMM (tomadas del Naval Research Lab.) correspondientes a las 22 UTC del día 28. Se aprecia que en este caso los modelos reproducen de manera bastante fiable el patrón a gran escala de la precipitación, así como las intensidades observadas por el satélite. Hay que tener en cuenta que la escala de intensidad de precipitación en la imagen de satélite está en pulgadas/hora (transformada a mm/6horas, en la numeración en color azul de la parte inferior de la imagen), y en las salidas de los modelos numéricas está en mm/3horas, aunque se ha tratado que las escalas de colores sean equivalentes. Se observa también, y en línea con lo que se ha apuntado en los apartados anteriores, que las estructuras precipitantes

obtenidas por el ONR y el T799 están algo retrasadas y presentan núcleos de mayor intensidad de precipitación que lo que se observa en los datos del TRMM.

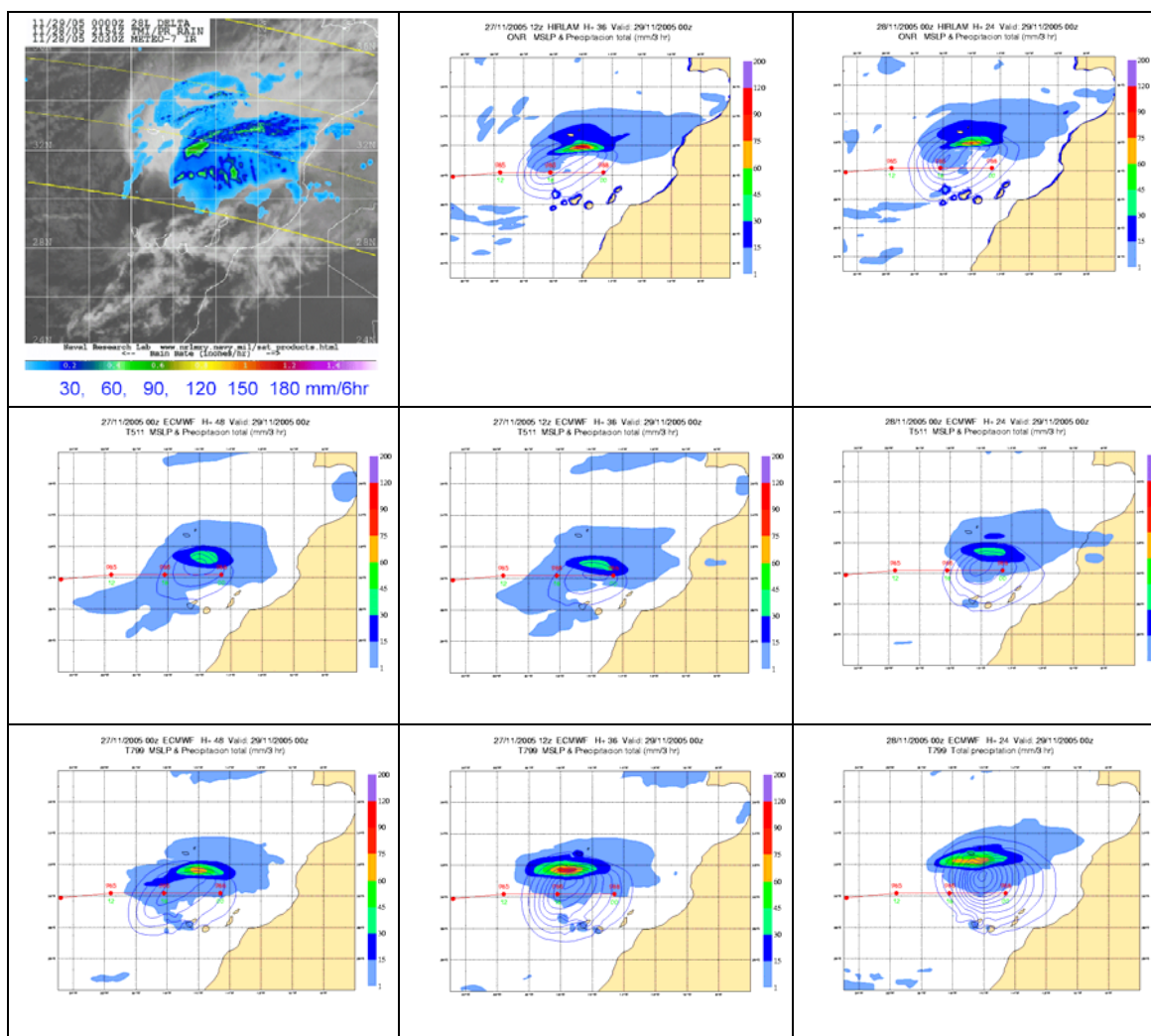


FIG. IV.9 Comparación de la precipitación prevista por los modelos para el 29 a 00 UTC y la observada por el satélite TRMM a las 22 UTC del día 28 (imagen superior izquierda). Las otras dos figuras de la fila superior corresponden al modelo ONR, las tres de la fila intermedia y las de la fila inferior, del T799. Las dos figuras inferiores de la primera columna son salidas de periodos de predicción H+48, las tres figuras de la columna intermedia corresponden a un H+36, y las de la columna derecha, a un H+24. Todos los modelos parten de las mismas condiciones iniciales.

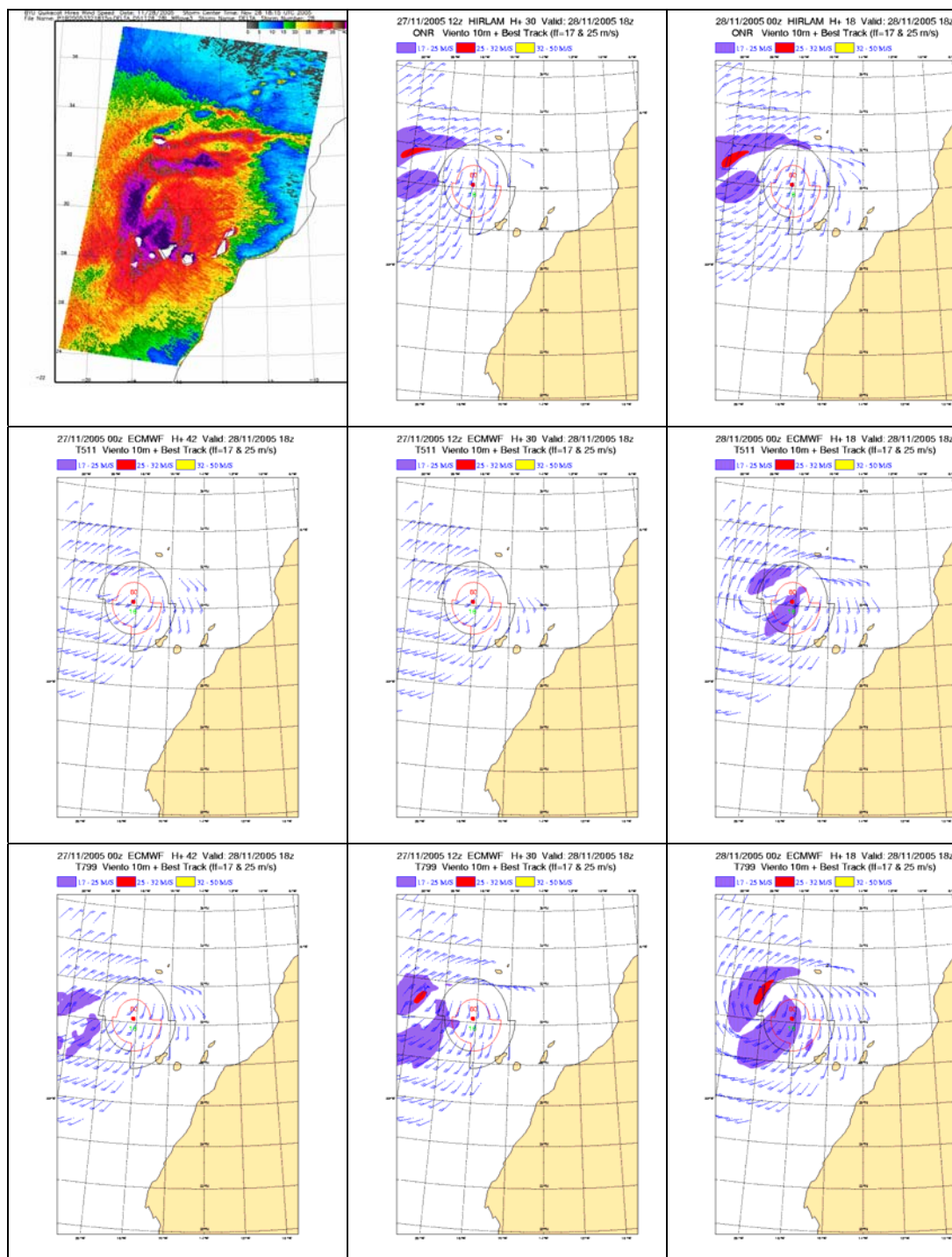


FIG. IV.10 Comparación del viento en superficie observado por el satélite QuikSCAT (imagen superior izquierda) y previsto por los modelos para las 18 UTC del día 28. Las otras dos figuras de la fila superior corresponden a las salidas del modelo ONR, las tres figuras de la fila intermedia son del T511, y las de la fila inferior del T799. Las dos figuras inferiores de la primera columna corresponden a un plazo de predicción de H+42, las tres figuras de la columna intermedia a un periodo de H+30, y las de la columna de la derecha a un H+18.

En la figura IV.10 se aprecia la estructura que presentaba el campo de vientos según una imagen del QuikSCAT a las 18:15 UTC del día 28 de noviembre (tomada del portal de NESDIS Marine Observing System y Brigham Young University), y se puede comparar con distintas salidas de modelos. En ellas se representan sólo los vientos superiores a 10 m/s, y se colorean por encima de 17 y 25 m/s, representándose también los radios

estimados para estos umbrales por el *Best Track Data*. Tal y cómo ya se vio en apartados anteriores, se ve que los modelos considerados (T511, T799 y ONR) no reproducen de manera adecuada la estructura del campo de vientos de la depresión tropical. El ONR y el T799, aunque simulan bastante bien el patrón y las intensidades del viento, retrasan la posición de la depresión, situándola demasiado al oeste a la hora considerada. El T511 que sitúa mejor la posición de la depresión, sin embargo no la intensifica lo suficiente, por lo que los vientos que predice se quedan por debajo de los estimados por el *Best Track Data* y de los observados por el satélite.

IV.5 Comparación con los datos de estaciones automáticas en Canarias

Se va a comparar finalmente, ver figura IV.11, el viento promedio máximo del modelo, en un área geográfica alrededor del Archipiélago canario, con los valores de viento medio en diez minutos registrados por las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que el INM tiene en las Islas Canarias. Este registro termina hacia las 22-23 UTC debido al corte de fluido eléctrico. Lo más importante que se observa en estas gráficas es que, en cierto modo, todos los modelos reproducen de alguna manera un aumento en la intensidad del viento en el Archipiélago canario. En particular, el modelo T511 del CEPPM, aunque predice esta intensificación del viento, no es capaz de reproducirla de manera adecuada en cuanto a los valores máximos de viento que se observan entre las 18 UTC del día 28 y las 00 UTC del día 29. Las distintas pasadas del modelo HIRLAM operativo, ONR y CNN, intensifican más la depresión, dando vientos muy fuertes que se aproximan bastante a los registrados por las EMAS, pero como se puede ver, este proceso de profundización de la baja lo reproducen con cierto desfase temporal, por lo que estos máximos de viento los retrasan entre 3 y 9 horas, en el caso de la pasada del CNN de las 00 UTC del día 28, con relación a la referencia de las EMAS. Con el modelo T799 del CEPPM, ocurre algo parecido a lo anterior, simula bastante bien la intensificación del viento en Delta, pero lo hace con cierto retraso en relación a los máximos de viento registrados en Canarias. En cualquier caso este retraso en la intensificación es menor que el obtenido con las distintas versiones de HIRLAM, para los mismos plazos de predicción.

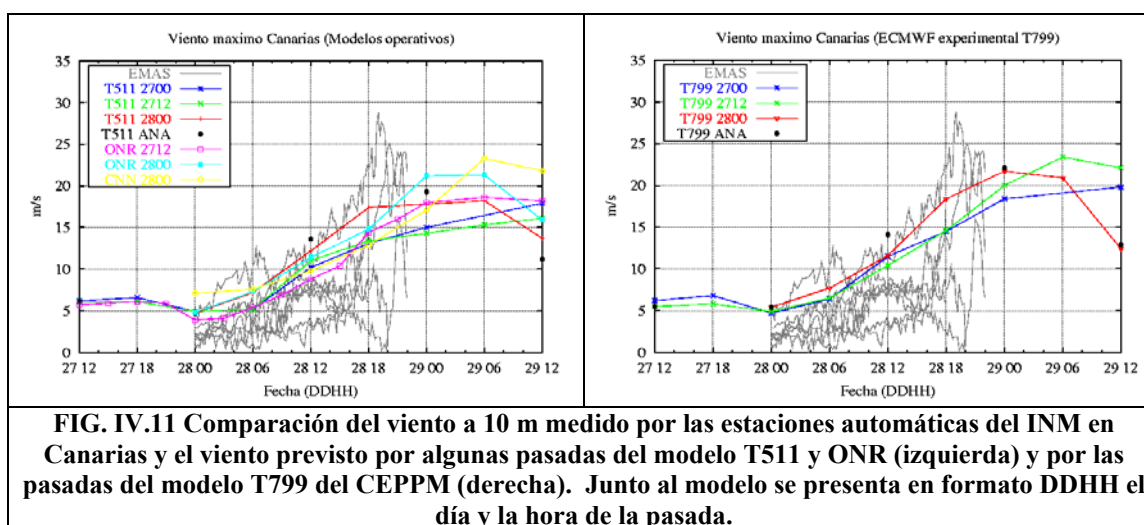


FIG. IV.11 Comparación del viento a 10 m medido por las estaciones automáticas del INM en Canarias y el viento previsto por algunas pasadas del modelo T511 y ONR (izquierda) y por las pasadas del modelo T799 del CEPPM (derecha). Junto al modelo se presenta en formato DDHH el día y la hora de la pasada.

IV.6 Conclusiones parciales

El modelo operativo T511 del CEPPM, predice adecuadamente el desplazamiento de la depresión a partir del D+4, aunque no la profundizó lo suficiente, por lo que los gradientes y los vientos previstos son más débiles que los estimados por satélite y que los registrados por distintos tipos de sensores en tierra.

El modelo T799 del CEPPM, en aquellas fechas experimental y actualmente operativo, sólo predice bien el desplazamiento de la depresión a partir del D+2. Produce una depresión mucho más profunda y en el corto plazo, D+2 y D+1, predice vientos con intensidad de depresión tropical sobre Canarias.

Las distintas versiones del modelo HIRLAM, aunque profundizaron mejor la depresión, dando por ello vientos más intensos, presentan errores mayores en la posición de la misma desde el análisis de partida. La versión de 5 km no mejora ni la trayectoria ni la intensidad respecto a la versión de 16 km.

La estructura a gran escala del campo de precipitación fue recogida con bastante exactitud por los modelos, sin tener en cuenta los errores relativos al desplazamiento de la depresión que se han comentado en los párrafos anteriores. Así mismo, el campo de vientos se refleja mejor en las predicciones del modelo del CEPPM, incluso en cuanto a la asimetría del mismo, aunque predice vientos menos intensos.

Dada la incertidumbre sobre el estado inicial y sobre el funcionamiento de las parametrizaciones físicas en este tipo de procesos, el uso de múltiples integraciones se considera de gran utilidad. En cuanto a la intensidad hay que tener en cuenta que el EPS utiliza una resolución mucho menor que el modelo determinista. Para Delta, el EPS T255 operativo sólo da una probabilidad significativa de que Delta afecte a Canarias a partir del D+2. El aumento de la resolución en la versión experimental del EPS T399 mejora significativamente la predicción, ya que se obtienen probabilidades más o menos significativas, desde al menos un D+4, de que se desarrolle una depresión de este tipo y de que su trayectoria pase entre Madeira y el Archipiélago canario. Por otro lado, al tener en cuenta distintos escenarios en la evolución del fenómeno, se pueden obtener diversos productos, como probabilidad de rachas de viento superior a ciertos umbrales, o como el EFI que, por lo menos, desde el D+4 daba una probabilidad significativa de ocurrencia de vientos muy intensos en las Islas Canarias.