

CAPÍTULO V

SIMULACIONES NUMÉRICAS

V.1 Modelos numéricos operativos y experimentales

*Estado del arte de los modelos numéricos de
predicción*

*Comportamiento de los modelos numéricos de
predicción*

Trayectoria

Intensidad

Precipitación

Viento en superficie

Conclusiones parciales

V.2 Efectos locales del viento generado por la Tormenta Delta: Simulaciones de alta resolución con MM5

Introducción

Simulaciones

Conclusiones parciales y otras consideraciones

V. SIMULACIONES NUMÉRICAS

Este capítulo se dividirá en dos apartados. En el primero de ellos se evaluará cómo influye el cambio del sistema de asimilación de datos, el modelo, la resolución y las parametrizaciones físicas en la simulación de Delta por los modelos numéricos de predicción. Los modelos utilizados son el T799L91 del CEPPM (ECMWF, 2006), que estaba en fase de pruebas en aquellas fechas, el HIRLAM (Unden et al., 2002) y el MM5 (Anthes y Warner, 1978). Las predicciones se comparan con las estimaciones oficiales del Centro Nacional de Huracanes (Beven, 2005), con datos de satélite y con datos de las estaciones meteorológicas automáticas del INM. En la segunda parte se tratará de ver si las simulaciones numéricas de muy alta resolución (hasta 1 km) son capaces de reproducir los efectos locales producidos por Delta. Para ello se compararán las salidas de viento del modelo MM5 en capas bajas con los datos de las estaciones meteorológicas automáticas del INM de las Islas Canarias.

V.1 Modelos numéricos operativos y experimentales

V.1.1 Estado del arte de los modelos numéricos de predicción

Los errores en la predicción de la trayectoria de depresiones tropicales y huracanes han disminuido mucho en las últimas dos décadas (figura V.1.1a) debido a una mejora en los sistemas de observación (aviones de reconocimiento y datos de satélite) y de los modelos numéricos de predicción. En cambio la predicción de la intensidad no ha mejorado mucho (figura V.1.1b), sólo se ve una ligera mejoría en las predicciones con 1 día de antelación. Los errores pueden ser mucho mayores para sistemas que se intensifican o debilitan rápidamente. La génesis de los ciclones tropicales tampoco se reproduce bien en los modelos numéricos. Como referencia, en la tabla V.1.1, se muestran los errores medios de las predicciones oficiales del CNH en los últimos años. Éstas se realizan a partir de las simulaciones de varios modelos globales, de área limitada y de modelos estadísticos. Estos valores representan los errores de los modelos numéricos ya que sólo para alcances de unas pocas horas las predicciones del CNH mejoran claramente los pronósticos directos de los modelos (ver por ejemplo Wang et al., 2006).

| Intervalo predicción | Trayectoria km | Intensidad km/h (kt) |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| H+24 | 160 | 17 (9) |
| H+48 | 260 | 28 (15) |
| H+72 | 370 | 35 (19) |

Tabla V.1.1 Errores medios de las predicciones oficiales del CNH para los últimos años en trayectoria e intensidad para diferentes intervalos de predicción.
Fuente CNH.

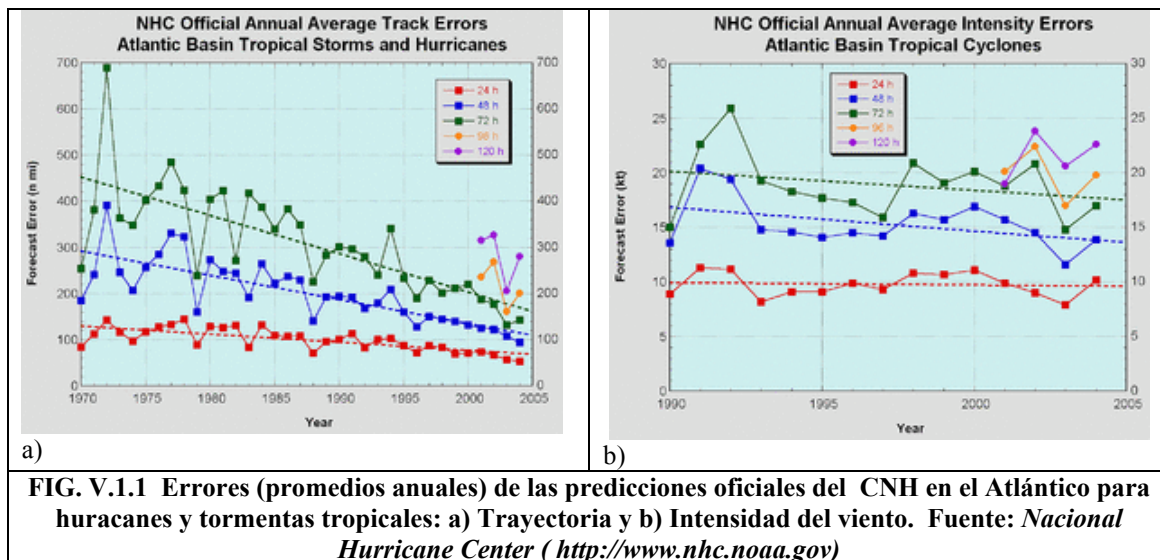


FIG. V.1.1 Errores (promedios anuales) de las predicciones oficiales del CNH en el Atlántico para huracanes y tormentas tropicales: a) Trayectoria y b) Intensidad del viento. Fuente: *Nacional Hurricane Center* (<http://www.nhc.noaa.gov>)

Para Delta, se ha visto que las predicciones de la trayectoria dadas por el modelo global del CEPPM fueron buenas para alcances de 24 y 48 horas. Además, se ha observado que tanto para la predicción de la trayectoria como de la intensidad es fundamental un buen análisis de partida. Esto no siempre es posible ya que estos sistemas se originan en zonas oceánicas donde suelen escasear las observaciones. Todavía hay muchos modelos que utilizan “observaciones sintéticas” o “datos bogus”, e introducen un vórtice con las características del ciclón estimadas subjetivamente. Los modelos no son capaces de reproducir las intensidades de los ciclones tropicales si no parten de un estado inicial con un sistema suficientemente realista. El uso de “observaciones sintéticas” es mucho más sencillo (barato) que otros sistemas de asimilación pero tiene el inconveniente de que los modelos necesitan unas horas de predicción para alcanzar un estado de equilibrio a partir de un estado no completamente balanceado. A medida que ha aumentado la resolución de los modelos operativos y la sofisticación de los sistemas de asimilación, se está tendiendo a no utilizar estas “observaciones sintéticas”.

El CEPPM, que es uno de los modelos globales con mayor resolución (actualmente 25 km), utiliza una asimilación variacional cutridimensional incluyendo sólo observaciones reales en su análisis. HIRLAM utiliza una asimilación variacional tridimensional y tampoco utiliza ‘observaciones sintéticas’. Dada la incertidumbre en las condiciones iniciales, el uso de sistemas con condiciones iniciales perturbadas (EPS) es considerado muy útil para evaluar la predecibilidad de la evolución de los ciclones tropicales. Para la intensidad, el EPS tiene menos valor al utilizarse una resolución menor que en las integraciones deterministas. En el caso de Delta, el EPS del CEPPM apoya la evolución dada por el modelo determinista y puede considerarse que sólo para alcances de menos de 3 días daba una probabilidad significativa de que se produjeran vientos fuertes sobre Canarias.

La predicción de la intensidad requiere resoluciones horizontales altas al ser necesario resolver el núcleo del ciclón tropical por lo que suelen utilizarse modelos de área limitada al no ser posible utilizar modelos globales a resoluciones tan elevadas. Al mismo tiempo, se requieren dominios de integración grandes ya que estos sistemas pueden abarcar unos miles de kilómetros y, además, es necesario representar adecuadamente el entorno atmosférico con el que interacciona el sistema. Durante los dos días previos a su llegada a Canarias, Delta experimentó una transición a sistema

extratropical por lo que resulta muy importante la correcta representación de interacción de la baja con una gran vaguada desplazándose hacia el este. El aumento de la resolución en el modelo del CEPPM mejora mucho la predicción de la intensidad de Delta. Como cabía esperar, la integración operativa de HIRLAM a 16 km, con mayor resolución que la del modelo operativo del CEPPM fue capaz de producir una depresión más intensa. En cambio la predicción de HIRLAM 5 km no aportó nada respecto al modelo de 16 km probablemente por utilizar un dominio demasiado pequeño y partir de errores grandes en el análisis. Como referencia en simulación de huracanes, la NOAA está probando un nuevo sistema de área limitada basado en el modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model) con resolución de 12 km y 4 km. La versión de 4 km tendría un dominio móvil que seguiría el desplazamiento del ciclón (Wang et al., 2006).

V.1.2 Comportamiento de los modelos numéricos de predicción

En lo que sigue se tratará de evaluar la influencia del esquema de asimilación, el modelo, la resolución y las parametrizaciones físicas en la representación de Delta. Se inicializan todos los modelos con el análisis del día 28 a las 00 UTC del modelo CEPPM T799 que también es utilizado como condiciones de contorno. Los dominios de integración de las simulaciones experimentales de HIRLAM pueden verse en la figura V.1.2 y los de MM5 en la figura V.2.1.

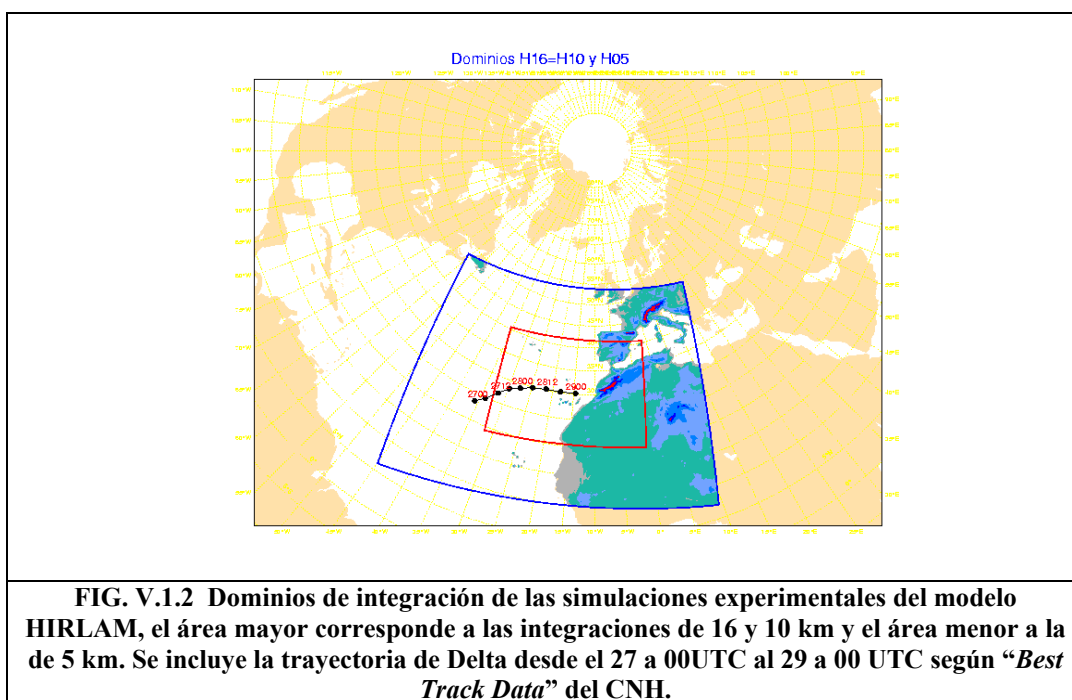


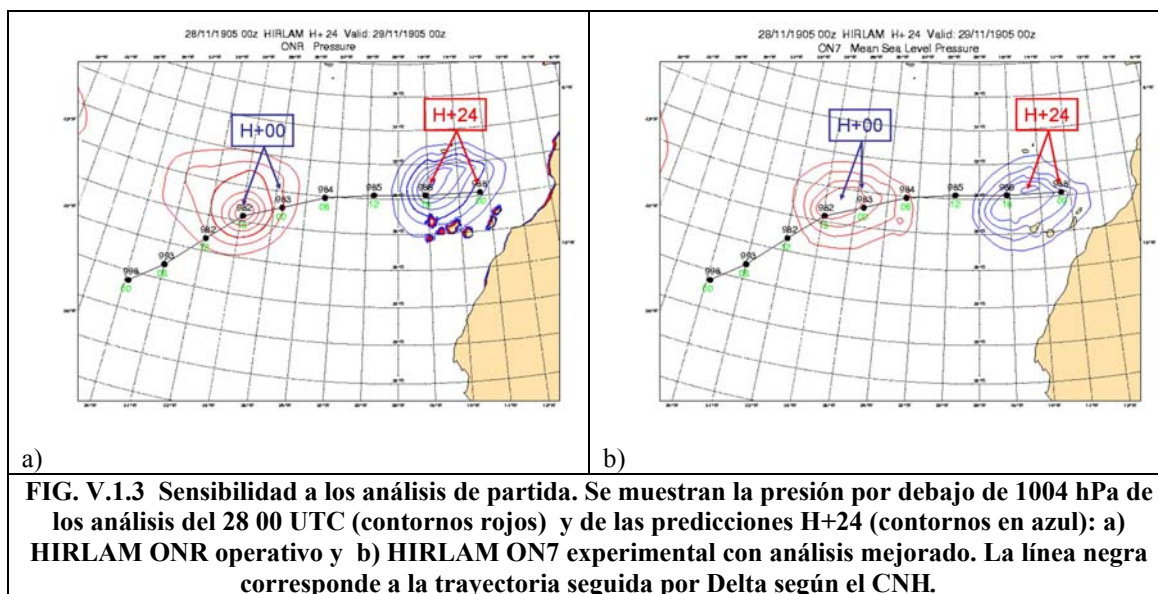
FIG. V.1.2 Dominios de integración de las simulaciones experimentales del modelo HIRLAM, el área mayor corresponde a las integraciones de 16 y 10 km y el área menor a la de 5 km. Se incluye la trayectoria de Delta desde el 27 a 00 UTC al 29 a 00 UTC según "Best Track Data" del CNH.

V.1.3 Trayectoria

a. Sensibilidad al análisis

En la sección "comportamiento de los modelos operativos" se ha visto que las predicciones de los modelos son muy sensibles al análisis de partida. Se ha realizado un nuevo experimento en el área ONR (figura IV.5) en el que se ha cambiado solamente el esquema de asimilación de datos. El nuevo experimento, ON7, asimila datos de satélite

ANSU-A y utiliza el campo previo del análisis del modelo T799 que mezcla con el *first guess* de HIRLAM. Las condiciones de contorno provienen también del T799. Para llegar a una asimilación independiente de la del modelo global, iniciamos la asimilación el día 24. En la figura V.1.3 pueden compararse los análisis resultantes para el día 28 a 00 UTC y las predicciones a que dan lugar. Nótese que los errores en la posición de la baja el día 29 a 00 UTC son menores con la nueva asimilación. De hecho, los errores son similares a los del T799.



b. Sensibilidad al modelo y la resolución

Para evaluar las trayectorias predichas se ha utilizado el análisis de la posición de Delta del CNH realizado a tiempo pasado, utilizando las observaciones e imágenes de satélite disponibles (Beven, 2006). Puede considerarse la mejor estimación de las posiciones de Delta y se conoce como *Best Track Data*.

La figura V.1.4 muestra las trayectorias previstas por las distintas simulaciones iniciadas con el análisis del T799 del 28 00 UTC. En la figura también se incluyen las posiciones dadas por los análisis del T799. En este periodo la trayectoria seguida por Delta es bastante rectilínea y las predicciones siguen una evolución próxima a la trayectoria observada por lo que las zonas a las que la tormenta afectó pueden ser predichas con bastante precisión.

En la tabla V.1.2 se dan los errores en la posición de Delta a su llegada a Canarias. El modelo T799 tiene un tiempo de espera para recibir las observaciones mayor que HIRLAM por lo que sus predicciones están disponibles unas 10 horas más tarde. Por esto se incluye también la predicción H+36 del modelo del CEPPM. Todas las trayectorias predichas están ligeramente al norte de la observación y retrasan la llegada de Delta a Canarias. La mejor trayectoria es la de MM5 que retrasa la baja unas 2 horas, HIRLAM y T799 H+36 la retrasan unas 5 horas. Hasta el momento, no se conocen las causas que motivan que el sistema se desplace más lentamente en algunas simulaciones.

| Simulación | Error posición (km) | P mín (hPa) | V máx (m/s) | V máx (m/s) Canarias |
|------------|---------------------|-------------|-------------|----------------------|
| T799 D+1.5 | 309 | 989 | 29.7 | 20.0 |
| T799 D+1 | 334 | 983 | 32.2 | 21.7 |
| HIR 16 km | 253 | 993 | 23.6 | 21.8 |
| HIR 10 km | 253 | 992 | 24.7 | 24.6 |
| MM5 9 km | 126 | 995 | 23.6 | 24.4 |

Tabla. V.1.2 Simulaciones válidas el día 29 a las 00 UTC: Errores en km comparando con *Best Track Data*, presión mínima de la baja (hPa), viento máximo a 10m (m/s) y viento máximo sobre Canarias (m/s). Las integraciones de HIRLAM (HIR) y MM5 tienen un alcance de 24 horas.

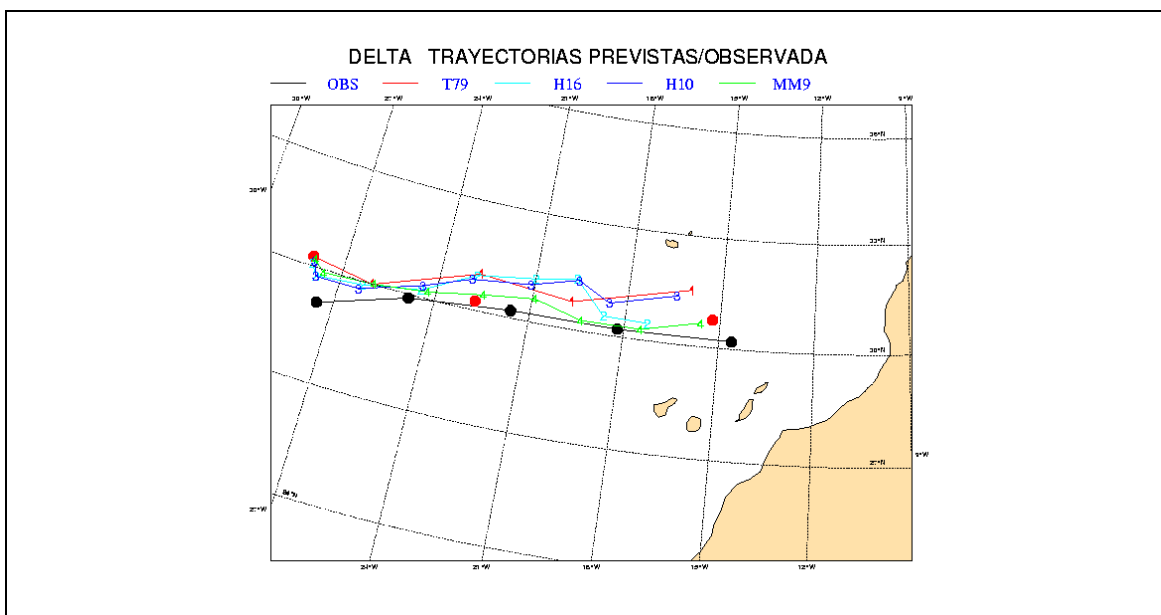


FIG.V.1.4 Trayectorias previstas para distintas simulaciones partiendo de análisis del CEPPM T799 del 28 a las 00 UTC y comparadas con *Best Track Data* (línea y puntos negros). Los puntos rojos corresponden a los análisis del T799. 1=T799, 2=HIRLAM 16 km, 3=HIRLAM 10 km, 4=MM5 9 km. El alcance de las predicciones es de 24 horas.

V.1.4 Intensidad

Aunque hay cierta incertidumbre en la intensidad real de Delta, utilizaremos los datos del *Best Track Data* como referencia. En la figura V.1.5 se puede ver la evolución del mínimo de presión y el máximo de viento para los distintos modelos y configuraciones. Parece que los cambios de intensidad no se predicen bien aunque esto no afecta mucho a los efectos sobre Canarias ya que la tormenta no cambió mucho de intensidad durante los dos días previos a su llegada a las Islas.

En el caso de la intensidad, la resolución tiene un impacto positivo: si no se resuelven las estructuras mesoescalares, especialmente en la parte central de la depresión, los modelos no hacen más que trasladar el sistema inicial. El aumento de la resolución en el modelo CEPPM hace aumentar la profundización de la baja pero parece que tiende a intensificarla demasiado el día 28. Las simulaciones de HIRLAM y MM5 siguen mejor la evolución del *Best Track* pero subestiman su intensidad. Para resoluciones por debajo

de los 9 km (salidas no mostradas) no se ve una mejora en los resultados, probablemente debido a que las áreas de integración son demasiado pequeñas dadas las dimensiones de la depresión y de la vaguada baroclina con la que interacciona.

Una de las incertidumbres para la simulación de estos sistemas viene de la parametrización de los procesos húmedos. En la simulación del súper tifón Flo (1990) se vio que la utilización de la convección Kain-Fritsch producía una intensificación mucho más realista (Nagata et al., 2001). En el caso de Delta, esta parametrización sólo da lugar a una baja un poco más profunda. Esto puede ser debido a que Delta se encuentra en una fase de transición extratropical donde la resolución del núcleo central puede no ser tan importante y empiezan a predominar los efectos baroclinos de una escala mayor.

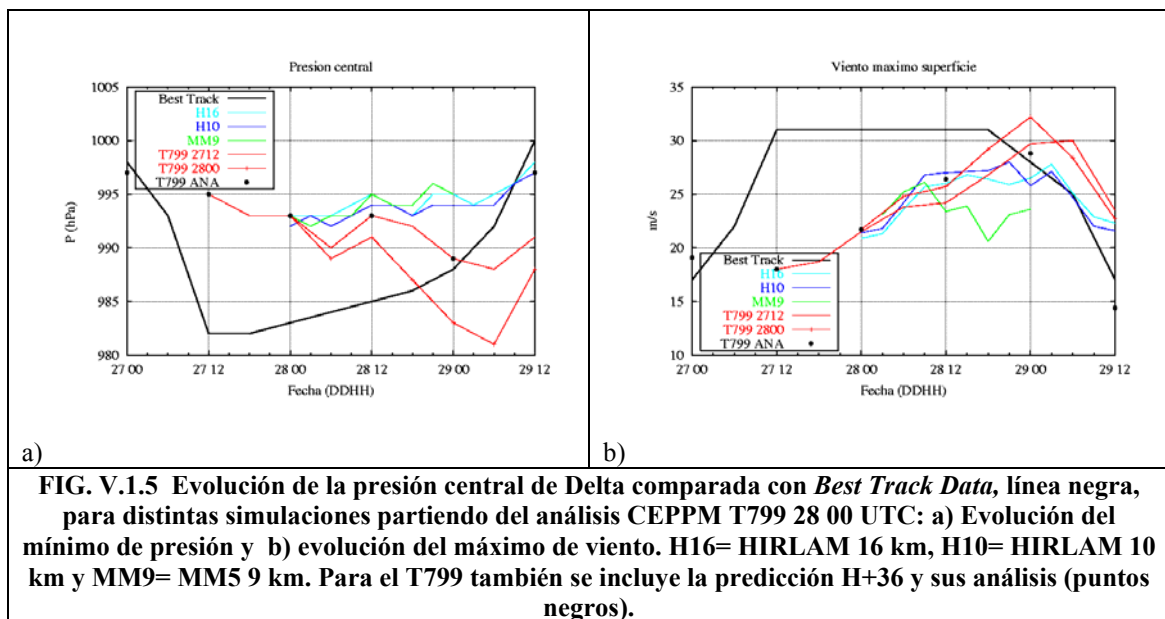
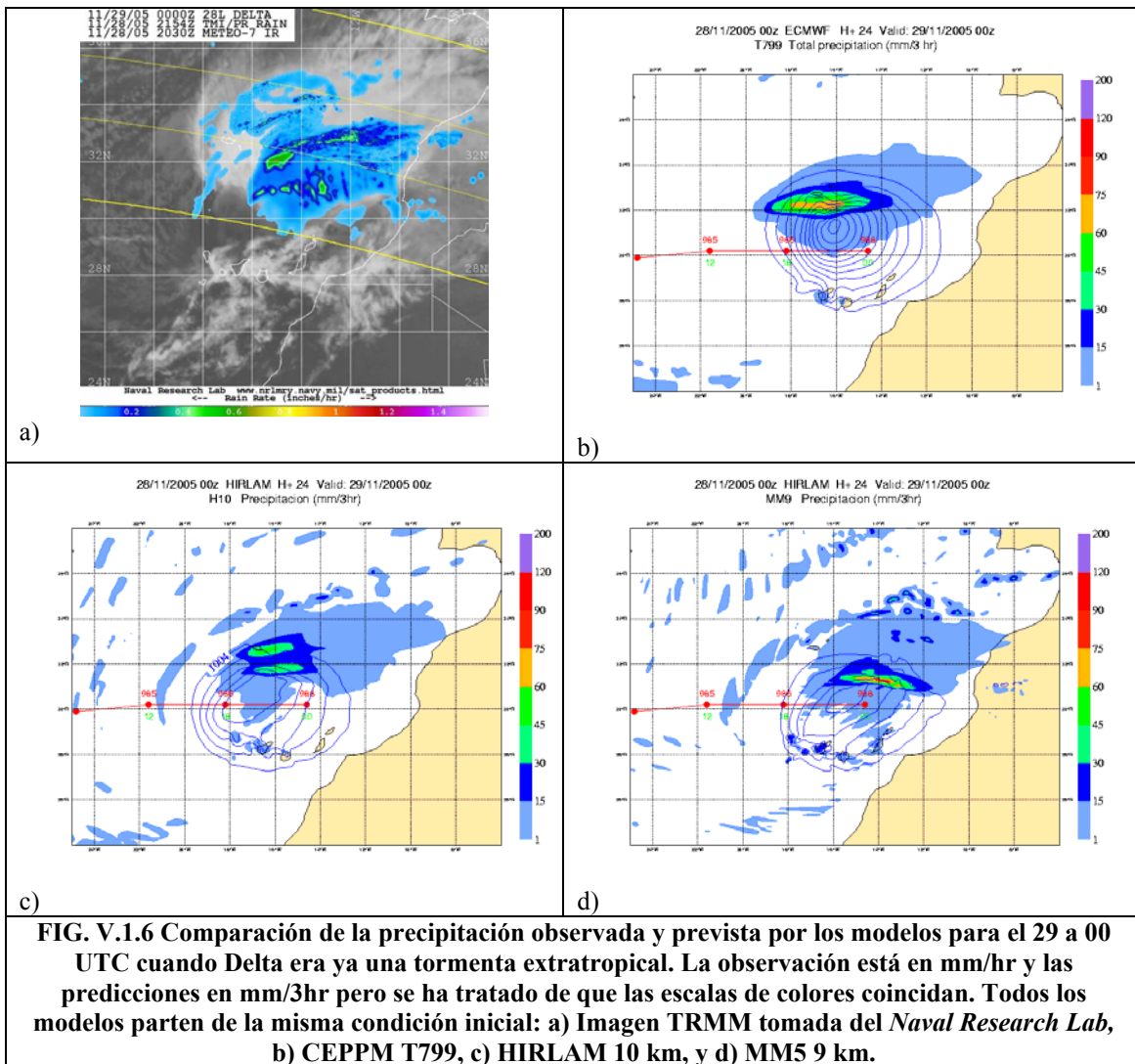


FIG. V.1.5 Evolución de la presión central de Delta comparada con *Best Track Data*, línea negra, para distintas simulaciones partiendo del análisis CEPPM T799 28 00 UTC: a) Evolución del mínimo de presión y b) evolución del máximo de viento. H16= HIRLAM 16 km, H10= HIRLAM 10 km y MM9= MM5 9 km. Para el T799 también se incluye la predicción H+36 y sus análisis (puntos negros).

V.1.5 Precipitación

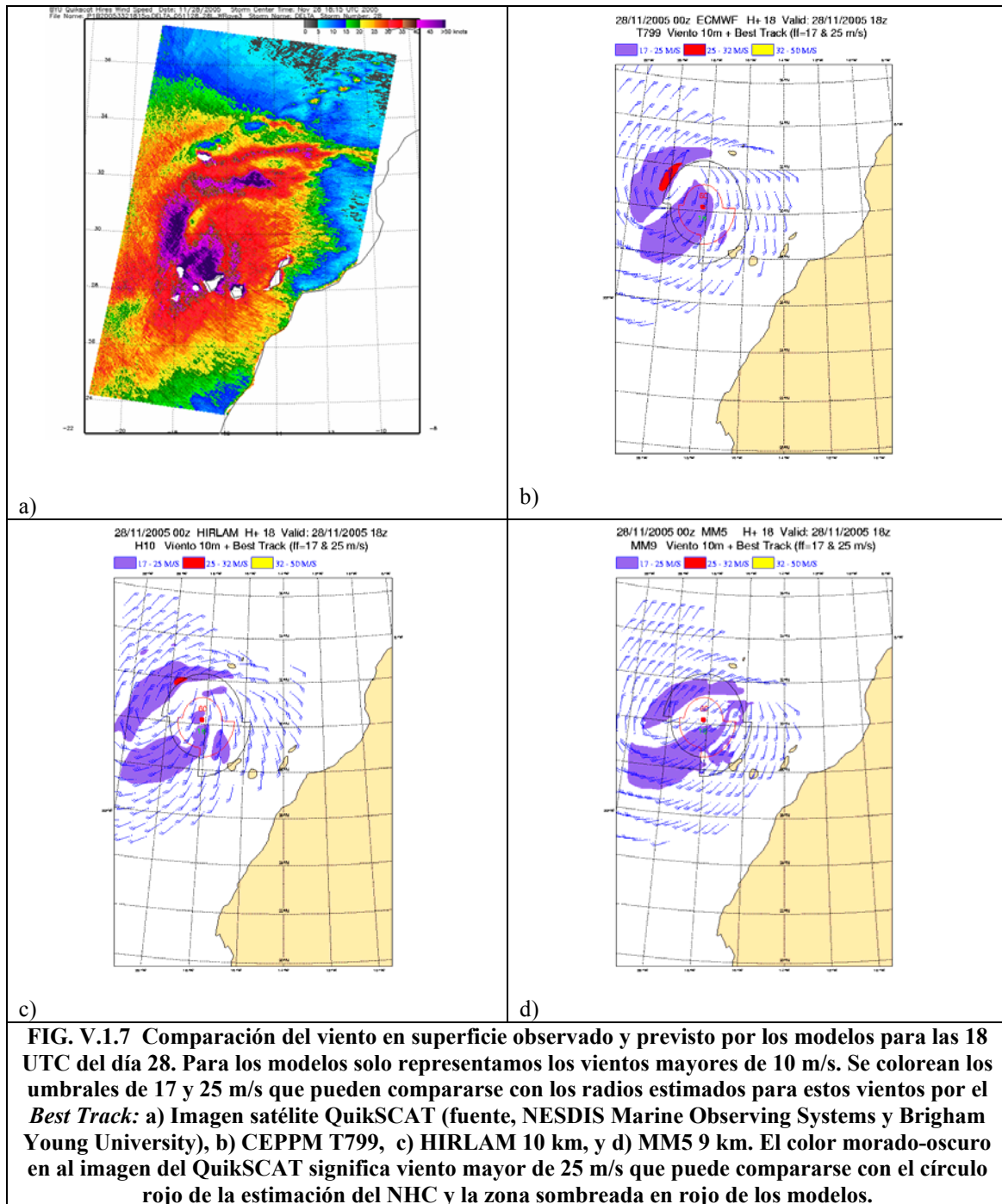
Las precipitaciones asociadas a Delta fueron intensas como se puede ver en las imágenes del satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). En la figura V.1.6 se compara la precipitación medida por el TRMM el 29 a las 00 UTC con las previsiones de los modelos. Se observa que se alcanzaron máximos de 15 mm/hr, pero afortunadamente estos tuvieron lugar al norte de las Islas Canarias. En general, se predice bien la estructura y la intensidad de la precipitación, con un máximo situado en la parte norte de la tormenta. Las salidas del T799 y del MM5 sobreestiman el máximo de precipitación. El campo de MM5 es algo más ruidoso. La precipitación HIRLAM está más retrasada pero el patrón que presenta es el más realista.



V.1.6 Viento en superficie

a. Estructura del viento

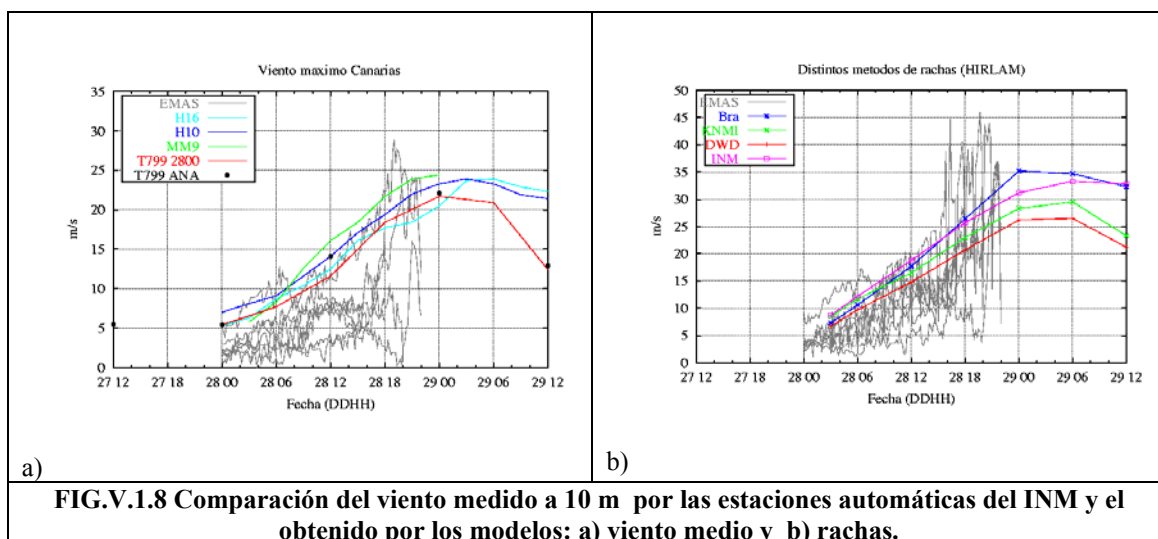
En la figura V.1.7 se comparan el viento en superficie estimado por el satélite QuikSCAT, la estimación de la zona de vientos de 17 y 25 m/s dada por el CNH, y los distintos modelos iniciados el 28 a 00 UTC. Se puede notar el retraso presente en todos los modelos aunque en el caso de MM5 es pequeño. Los máximos de viento se subestiman sobre todo en el cuadrante sur-este de la baja. MM5 da intensidades un poco más bajas pero al localizar la depresión más cerca de las Islas termina produciendo unos vientos similares sobre Canarias. Nótese en la imagen de satélite que el máximo al norte de la baja puede estar contaminado por la precipitación.



b. Comparación con los datos de estaciones automáticas en Canarias

En la figura V.1.8 se comparan las observaciones de viento de las estaciones automáticas del INM con las simulaciones numéricas. La distribución de las estaciones puede verse en la figura V.2.8 y su localización en la tabla V.2.2. No se ha incluido la estación de Izaña al estar mucho más elevada que la superficie de los modelos. Para las simulaciones se muestra el viento a 10 m (tomamos el máximo en el área Canarias: 27/30 N y 12/18 O). Los registros de las estaciones terminan hacia las 21 UTC del día 28 debido a los cortes del suministro eléctrico. Los máximos de viento ocurren en torno a esa hora o un poco más tarde. El máximo de las observaciones en la figura V.1.8 es de

unos 28 m/s mientras que en los modelos esta comprendido entre los 22 y los 25 m/s. Otras estaciones sugieren que los máximos registrados probablemente fueron mayores.



En la figura V.1.8 puede apreciarse el retraso en la aparición del máximo de viento y la subestimación aunque todas las simulaciones alcanzan velocidades de depresión tropical y están cerca de alcanzar intensidades de huracán. Es interesante notar que la dispersión en estas simulaciones es pequeña y esto probablemente es debido a que todas ellas parten del mismo análisis. En la figura V.1.8b se comparan las rachas calculadas a partir de las simulaciones HIRLAM de 10 km utilizando distintos métodos de estimación de rachas (Vindel et al., 2006). Se predice bien la evolución pero se subestiman los máximos de las rachas que son de unos 46 m/s en las observaciones y de 26 a 36 m/s en las rachas previstas.

V.1.7 Conclusiones parciales

- La predicción de la intensidad y desplazamiento de las depresiones tropicales y huracanes sigue siendo un problema difícil, especialmente la predicción de la intensidad. Los modelos numéricos son la herramienta fundamental para realizar predicciones pero todavía existen muchas incertidumbres en la simulación de estos sistemas.
- Se ha mostrado que la trayectoria de Delta se predijo bien con una antelación de unos dos días aunque la mayoría de las simulaciones tienden a producir un retraso en su llegada a las Islas Canarias.
- La evolución de los cambios de intensidad experimentados por Delta no se reproduce bien y se requieren predicciones de corto plazo para generar un sistema realista. El aumento de la resolución es fundamental para desarrollar vientos fuertes asociados a Delta. La nueva versión del modelo del CEPPM T799 genera una baja mucho más profunda pero retrasa de 2 a 5 horas su llegada a las Islas.
- Los modelos de área limitada, con el aumento de resolución que conllevan, son útiles sobre todo para las predicciones de intensidad al ser capaces de reproducir mejor las estructuras mesoescalares asociadas a los ciclones tropicales, especialmente en su parte central. Parece que estos modelos requieren dominios suficientemente grandes para representar a estos sistemas, que pueden tener

grandes dimensiones, y su interacción con en el entorno. En este estudio de Delta no se han visto mejoras para resoluciones por debajo de los 9 km.

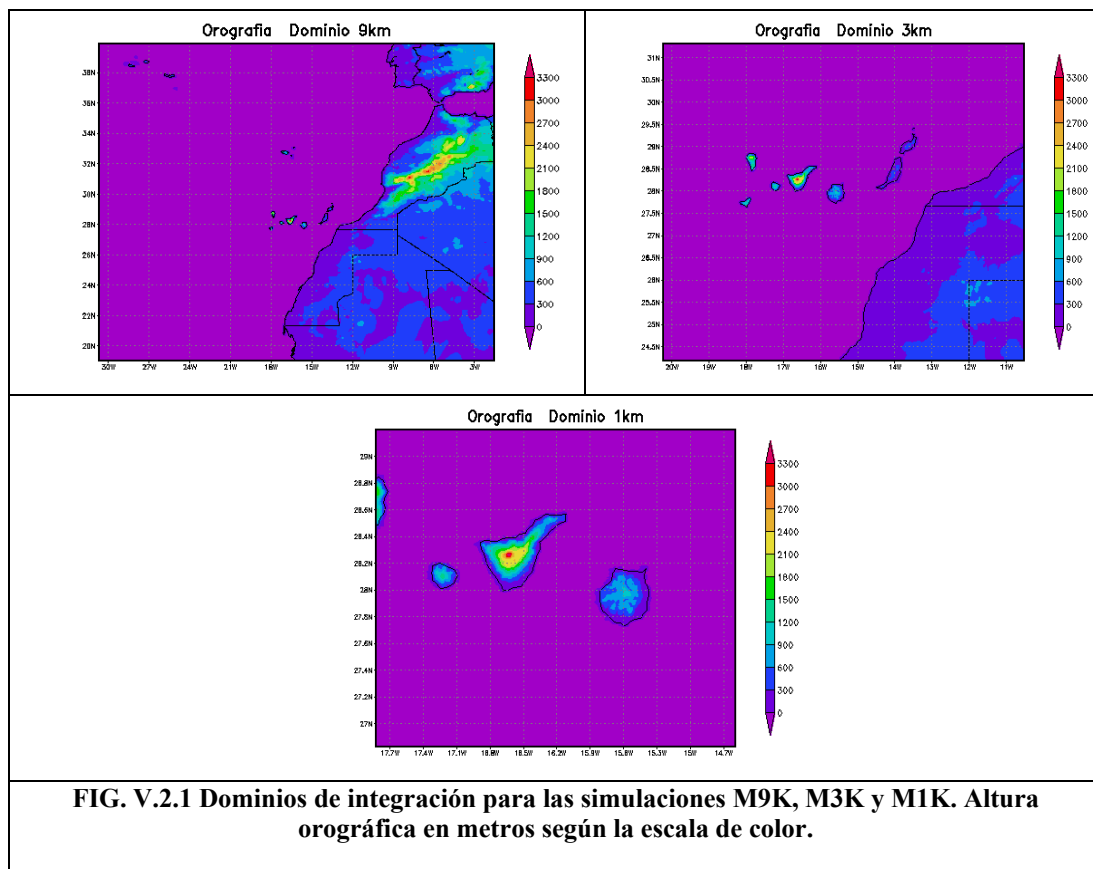
- Los patrones de precipitación asociados a Delta se reproducen bien. El patrón de viento en superficie se simula razonablemente bien aunque se subestima su intensidad en la mayoría de las simulaciones.
- Sobre las Islas Canarias, las simulaciones subestiman algo la fuerza del viento y retrasan la aparición de los máximos. Los modelos predicen máximos de viento sobre Canarias entre 22 y 25 m/s (fuerza correspondiente a huracán) y rachas de hasta 36 m/s.
- Uno de los ingredientes fundamentales para la simulación de ciclones tropicales es el análisis de partida. El aumento de la resolución y la sofisticación de los esquemas de asimilación está haciendo mejorar mucho la predicción de este tipo de fenómenos. No obstante, dada la incertidumbre asociada al estado inicial y a la representación de los procesos físicos, es recomendable utilizar sistemas de integraciones múltiples o EPS para valorar la predecibilidad del sistema. También es recomendable un control de calidad o *monitoring* del análisis.
- Debido a las incertidumbres en la representación de los ciclones tropicales es recomendable la utilización de varios modelos numéricos de predicción a la hora de realizar los pronósticos.

V.2 Efectos locales del viento generado por Delta: Simulaciones de alta resolución con el modelo MM5

V.2.1 Introducción

Debido a la orografía extremadamente compleja del Archipiélago Canario, la predicción de los vientos locales es uno de los mayores problemas a resolver por los modelos numéricos. Esta complejidad es aún mayor en el caso de vientos muy intensos, como los generados por los restos de la tormenta tropical Delta.

La aceptable calidad de los datos de viento previstos y proporcionados por los modelos operativos del Instituto Nacional de Meteorología (INM), High Resolution Area Model (HIRLAM Scientific Documentation, 2002) ONR con 16 km de resolución horizontal aproximadamente y el HIRLAM CNN con 5 km de resolución aproximada, llevaron a plantear, de forma experimental, una serie de simulaciones de alta resolución.



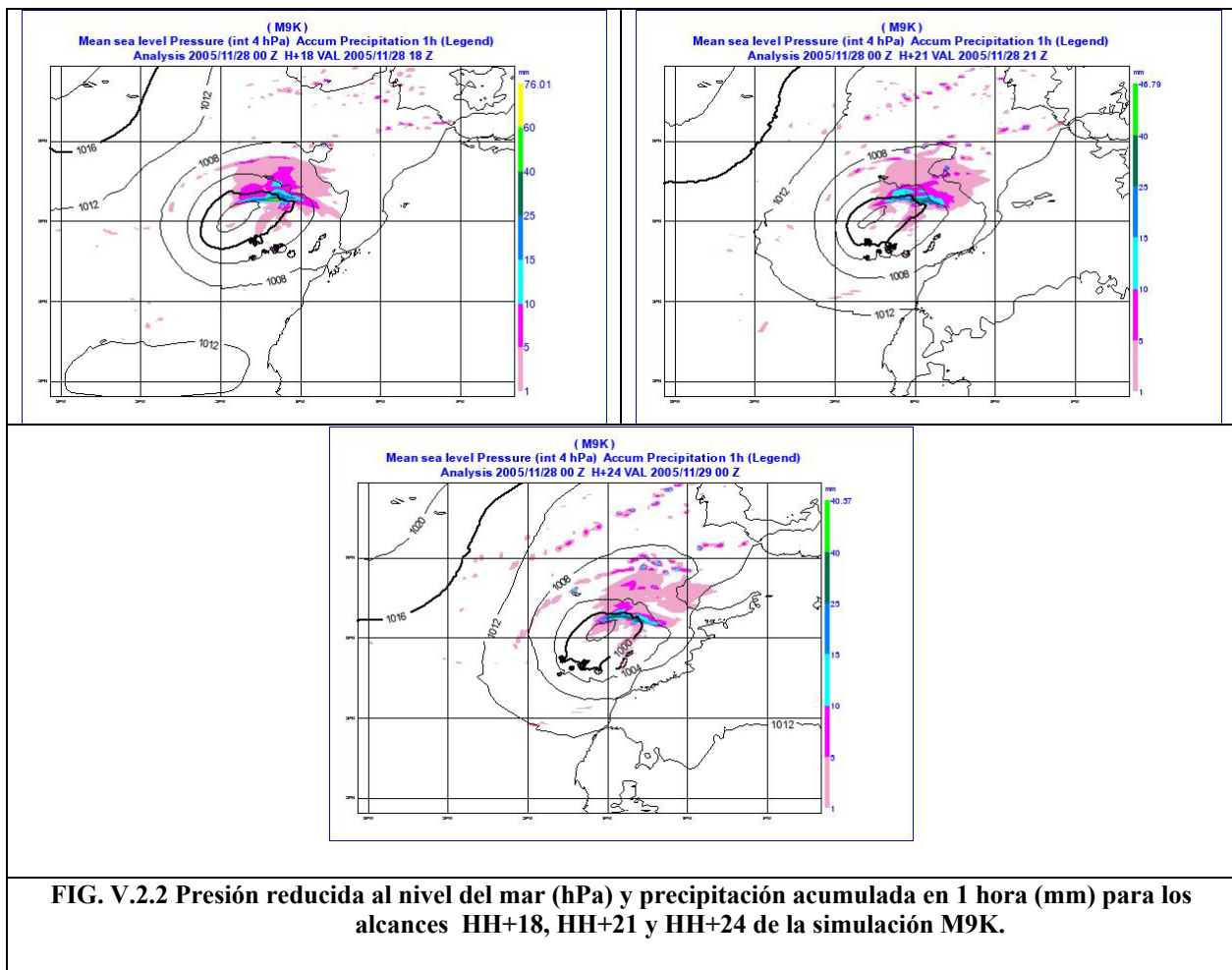
Las primeras simulaciones, no mostradas aquí, se llevaron a cabo con el modelo de mesoescala MM5 (Anthes and Warner, 1978) empleando un anidamiento bidireccional con retroalimentación entre los dominios de integración a resoluciones de 30 y 10 km partiendo de las condiciones iniciales y de contorno del modelo del CEPPM, T511L60 (modelo operativo en noviembre de 2005 con 60 niveles en la vertical). Asimismo, se han realizado integraciones a resoluciones de 9, 3 y 1 km con 40 niveles en la vertical, utilizando como condiciones iniciales y de contorno los datos del modelo del CEPPM T799L91 que tiene una resolución aproximada de 25 km y cuenta con 91 niveles

verticales. En la figura V.2.1 se muestran los dominios de integración para las simulaciones 9 km, 3 km y de 1 km, denotadas como M9K, M3K y M1K, respectivamente.

V.2.2 Simulaciones

El modelo se inicializó con el análisis del T799L91 del día 28 de noviembre de 2005 a las 00 UTC. Como condiciones de contorno se utilizaron las predicciones realizadas por el modelo T799 L91 a partir del citado análisis con una frecuencia de 3 horas. La integración se realizó para las 24 horas siguientes al análisis. De este modo evaluamos la calidad predictiva del modelo para este tipo de fenómenos.

La figura V.2.2 muestra los mapas de presión reducida al nivel del mar y precipitación acumulada en el periodo de una hora para la simulación M9K del 28-11-2005 a las 00 UTC y alcances HH+18, HH+21 y HH+24 respectivamente. Es de destacar la similitud que muestran los patrones de precipitación con las estimaciones de satélite mostradas en el apartado anterior.



La figura V.2.3 muestra, en sombreado, las intensidades del viento a 10 metros (km/h) según la escala adjunta. Los vectores indican la dirección y sentido del mismo para la

simulación M9K del 28-11-2005 a las 00UTC y alcances HH+18, HH+21 y HH+24, que corresponden al día 28 a las 18 y 21 UTC y al día 29 a las 00 UTC, respectivamente.

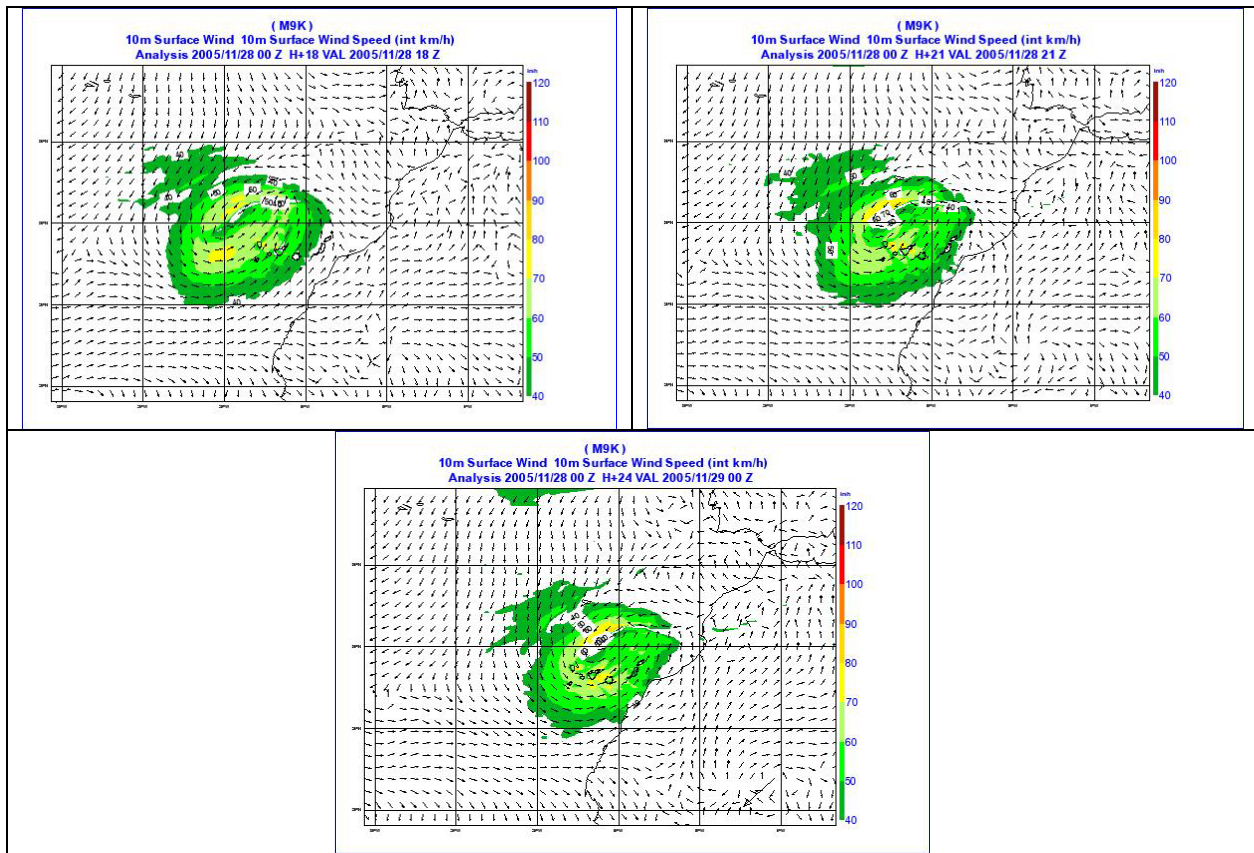
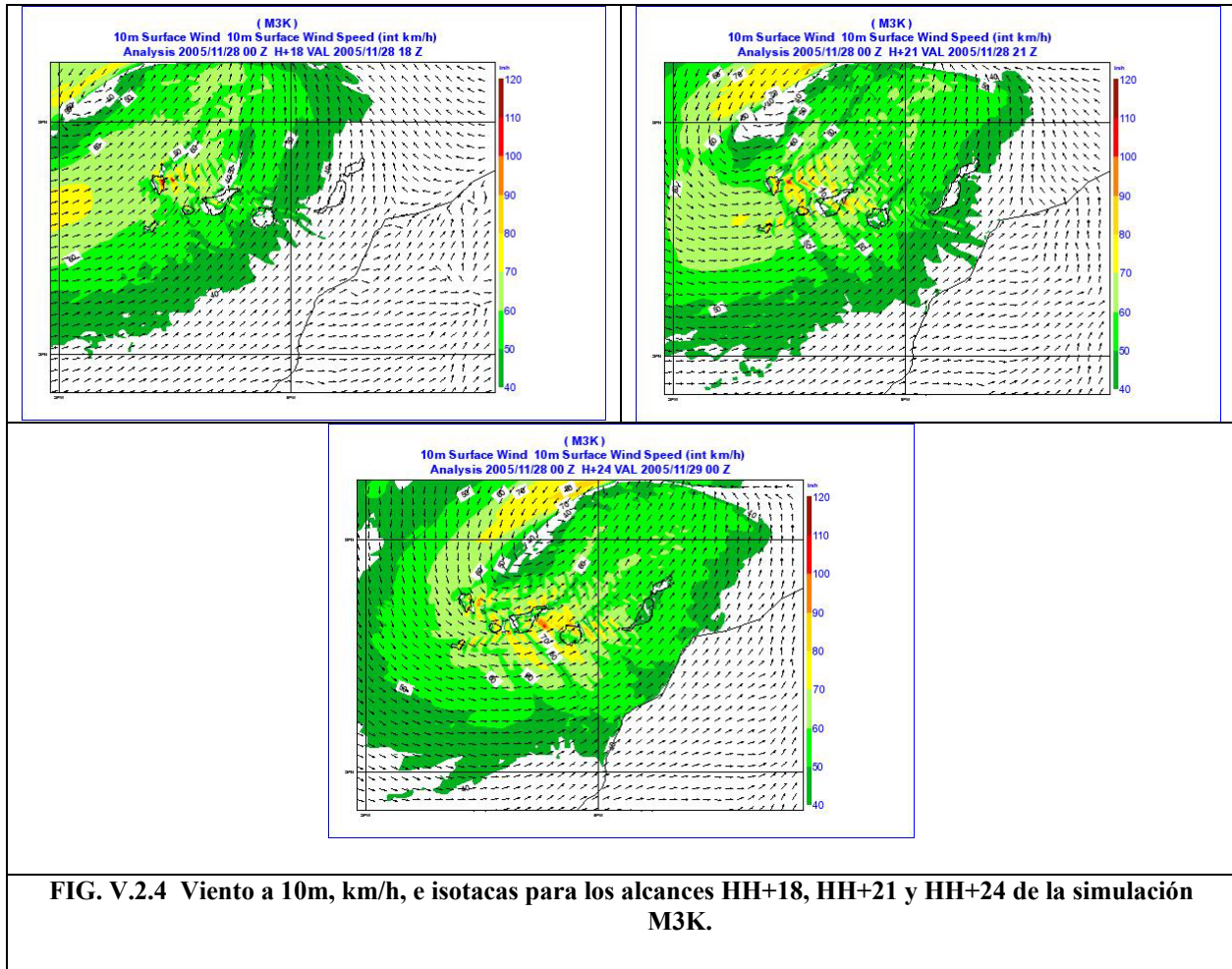
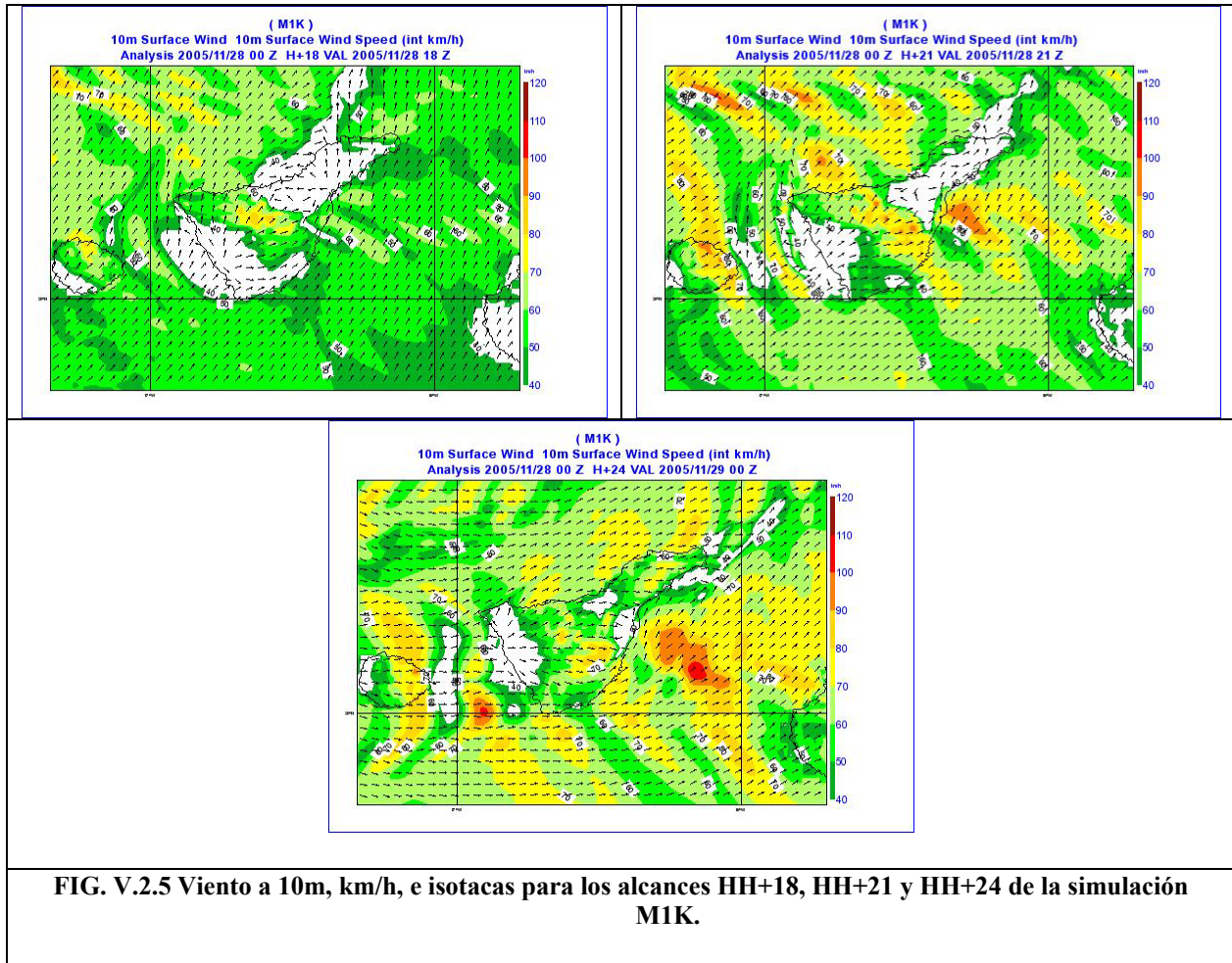


FIG. V.2.3 Viento a 10m, en km/h, e isotacas para los alcances HH+18, HH+21 y HH+24 de la simulación M9K.

La figura V.2.4 muestra, en sombreado, las intensidades del viento a 10 metros (km/h). Los vectores indican la dirección y sentido del mismo para la simulación M3K del 28-11-2005 a las 00UTC y alcances HH+18, HH+21 y HH+24.



La figura V.2.5 muestra, en sombreado, las intensidades del viento a 10 metros (km/h). Los vectores indican la dirección y sentido del mismo para la simulación M1K del 28-11-2005 a las 00UTC y alcances HH+18, HH+21 y HH+24.

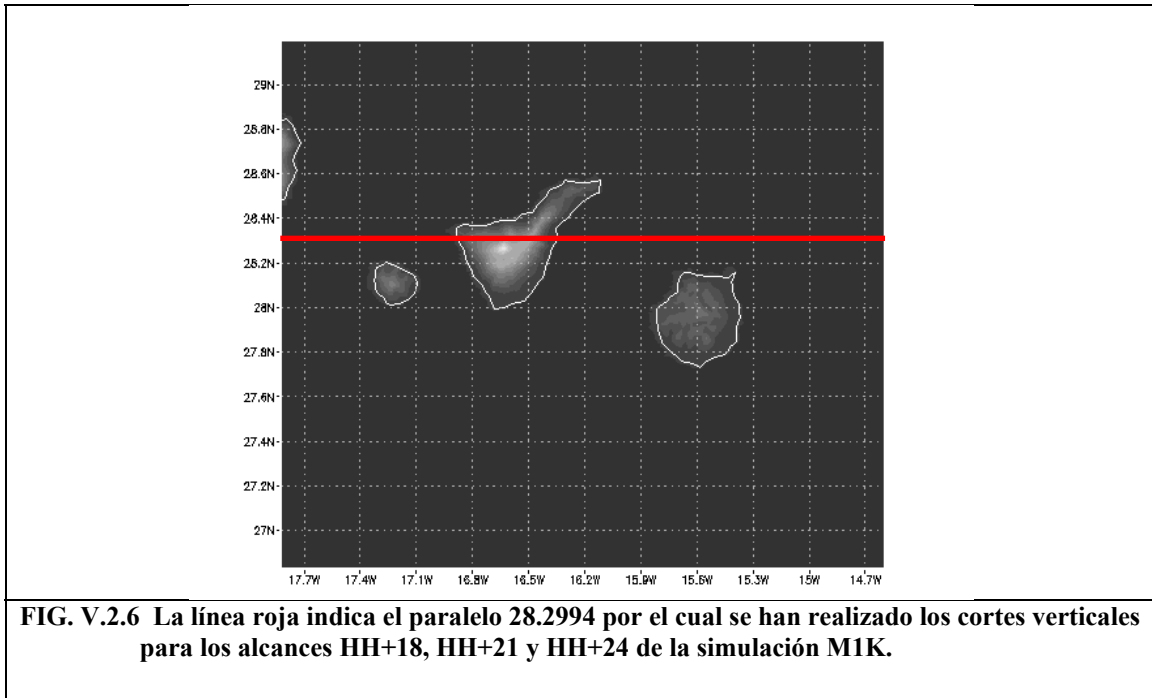


El modelo muestra, en todas las simulaciones, unos máximos de viento a 10 metros que tienen un patrón ondulatorio. Este efecto ondulatorio puede ser el resultado de la interacción del flujo general con la orografía de las islas.

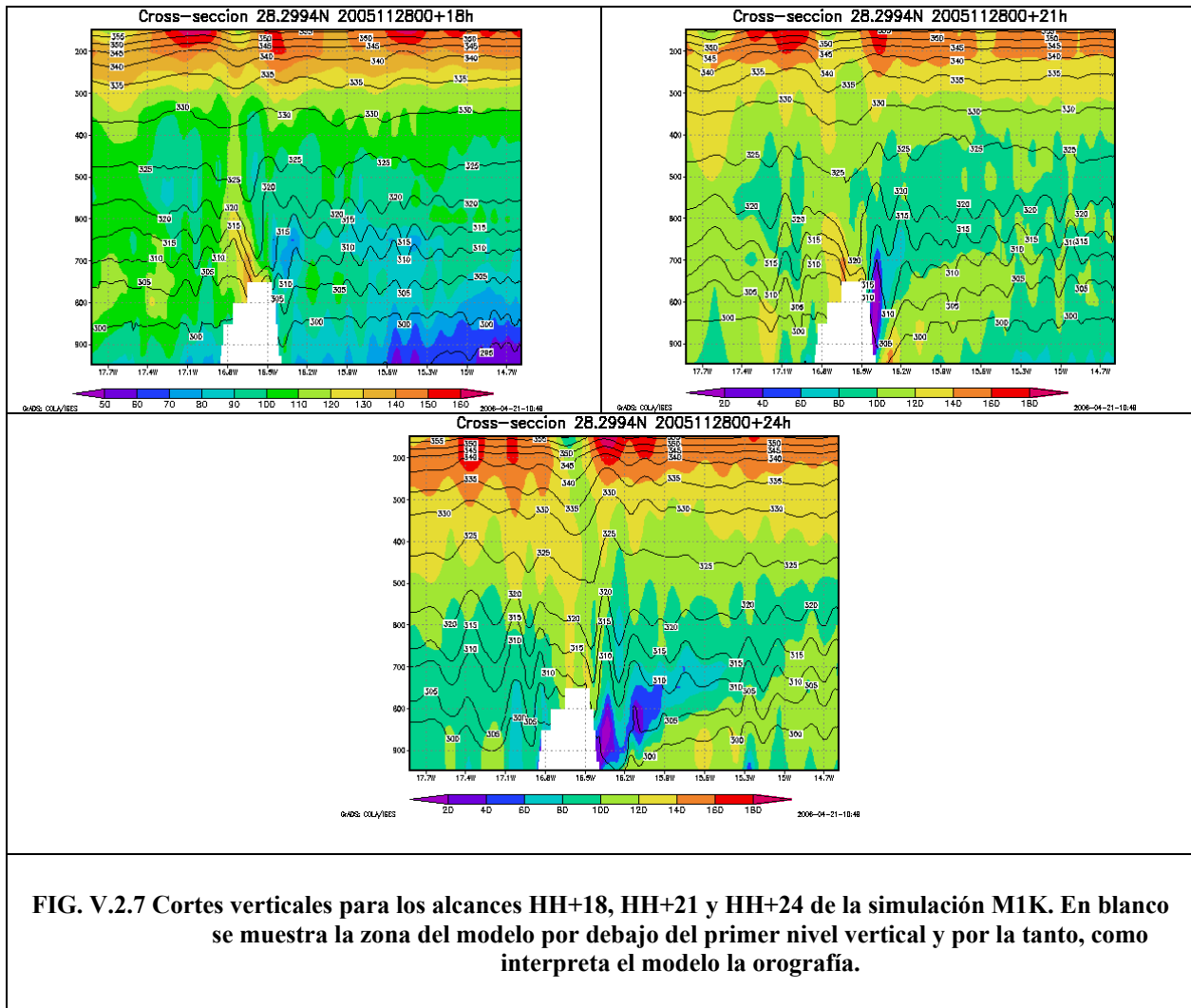
Las imágenes de satélite muestran indicios de la posible presencia de estos efectos ondulatorios, que podrían haber dado lugar a fenómenos como ondas de montaña y vientos intensos descendentes de ladera a sotavento de las altas zonas montañosas.

Cortes verticales

Para ver en mayor detalle los efectos ondulatorios que ha generado el modelo y la posibilidad de encuadrarlos como ondas de montaña se realizan tres cortes verticales a lo largo del paralelo 28.2994 N (figura V.2.6).



En los cortes verticales de la figura V.2.7 se representa en sombreado el módulo del viento (km/h) y la temperatura potencial (K) para la simulación M1K del 28-11-2005 a las 00UTC y alcances HH+18, HH+21 y HH+24, se utiliza como coordenada vertical la presión.



Los gráficos de la figura V.2.7 indican que para esta situación el modelo puede generar perturbaciones orográficas como ondas de montaña a sotavento del obstáculo orográfico (Colle and Mass, 1997).

Se puede observar que:

- El flujo que llega a la isla de Tenerife por el oeste tiene ya carácter ondulatorio y proviene de los efectos orográficos de las islas más occidentales.
- Existen máximos de viento previstos muy acusados en las partes altas de la isla con vientos entre 140 y 160 km/h a las 21 UTC, que concuerdan con lo observado.
- Las simulaciones de las 21 UTC muestran máximos de viento en la superficie del mar con valores entre 120-160 km/h a sotavento de la montaña, próximo a su base, y muy cerca de la costa.
- En ningún momento en los cortes verticales se reproducen vientos fuertes de ladera de montaña. Al revés se observa disminución del viento (color morado en +21).

Las perturbaciones orográficas creadas por las islas de mayor altura también las genera el modelo en las simulaciones M9K y M3K (gráficos no mostrados).

Evaluación de las predicciones de viento en superficie por los modelos

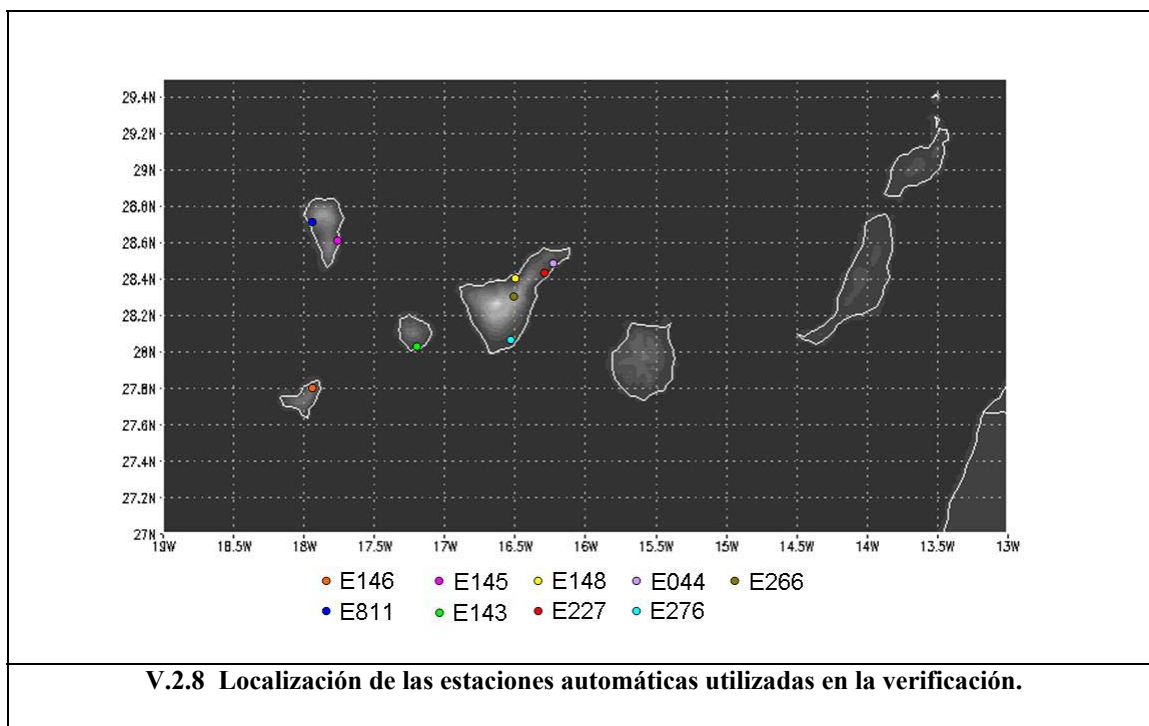
Para evaluar de forma objetiva la calidad de las predicciones de viento, se utilizan los datos de las estaciones meteorológicas automáticas del INM situadas en diversos puntos de las islas (Tabla V.2.1) y los datos del punto de rejilla más cercano a la estación de las simulaciones M9K, M3K y M1K del módulo del viento a 10 m.

| Indicativo | | Nombre | Altitud | Lat. | Long. |
|------------|------|-----------------------|---------|---------|---------|
| 60001 | E146 | HIERRO/AEROPUERTO | 30 | 27 49 N | 17 53 O |
| 60004 | E811 | TAZACORTE | 30 | 28 36 N | 17 55 O |
| 60005 | E145 | LA PALMA/AEROPUERTO | 40 | 28 37 N | 17 45 O |
| 60008 | E143 | LA GOMERA,AYUD.MARINA | 15 | 28 05 N | 17 06 O |
| 60012 | E148 | PUERTO DE LA CRUZ | 25 | 28 25 N | 16 33 O |
| 60015 | E227 | TENERIFE/LOS RODEOS | 617 | 28 28 N | 16 19 O |
| 60020 | E044 | STA.CRUIZ DE TENERIFE | 36 | 28 27 N | 16 15 O |
| 60025 | E276 | TENERIFE/SUR | 77 | 28 03 N | 16 34 O |
| 60010 | E266 | IZAÑA | 2367 | 28 19 N | 16 30 O |

Tabla V.2.1. Localización de las estaciones meteorológicas automáticas utilizadas para la verificación con las salidas M9K, M3K y M1K.

Los registros de las estaciones automáticas tienen diferente longitud temporal debido a los cortes de suministro eléctrico sufridos debido a la caída de los postes de alta tensión. Asimismo, la utilización del punto más cercano de rejilla a la estación lleva a que la altura real no coincida con la altura de la orografía en el modelo.

En el caso de M1K las estaciones E146 y E811 no serán estudiadas al no estar situadas dentro del dominio de integración. En la figura V.2.8 se muestra la localización de las estaciones automáticas utilizadas en este estudio.



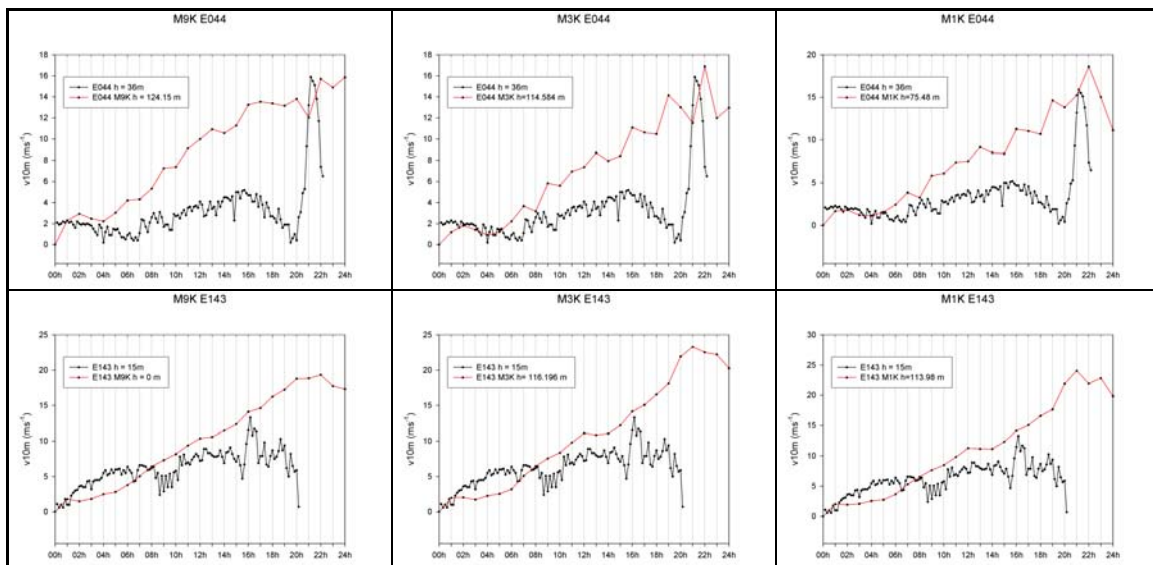
V.2.8 Localización de las estaciones automáticas utilizadas en la verificación.

En la Tabla V.2.2 se muestran los valores del coeficiente de correlación lineal (nivel de significación del 95%) para las ocho series de los observatorios.

| | M9K | M3K | M1K |
|-------------|------------|------------|------------|
| E044 | 0.47 | 0.48 | 0.58 |
| E143 | 0.32 | 0.24 | 0.25 |
| E145 | 0.95 | 0.92 | 0.92 |
| E146 | 0.03 | 0.15 | ND |
| E227 | 0.83 | 0.81 | 0.79 |
| E266 | 0.72 | 0.26 | 0.08 |
| E276 | 0.94 | 0.96 | 0.96 |
| E811 | 0.79 | 0.88 | ND |

Tabla V.2.2. Valores del coeficiente de correlación lineal para las ocho series de los observatorios. ND indica valores de simulación No Disponibles al no estar dentro del dominio de integración.

En la figura V.2.9 se muestra la evolución temporal de los registros de las estaciones para las tres salidas del modelo, M9K, M3K y M1K. En el recuadro de la esquina superior izquierda de cada gráfico se indican la altura de la estación y la altura del punto más cercano de rejilla.



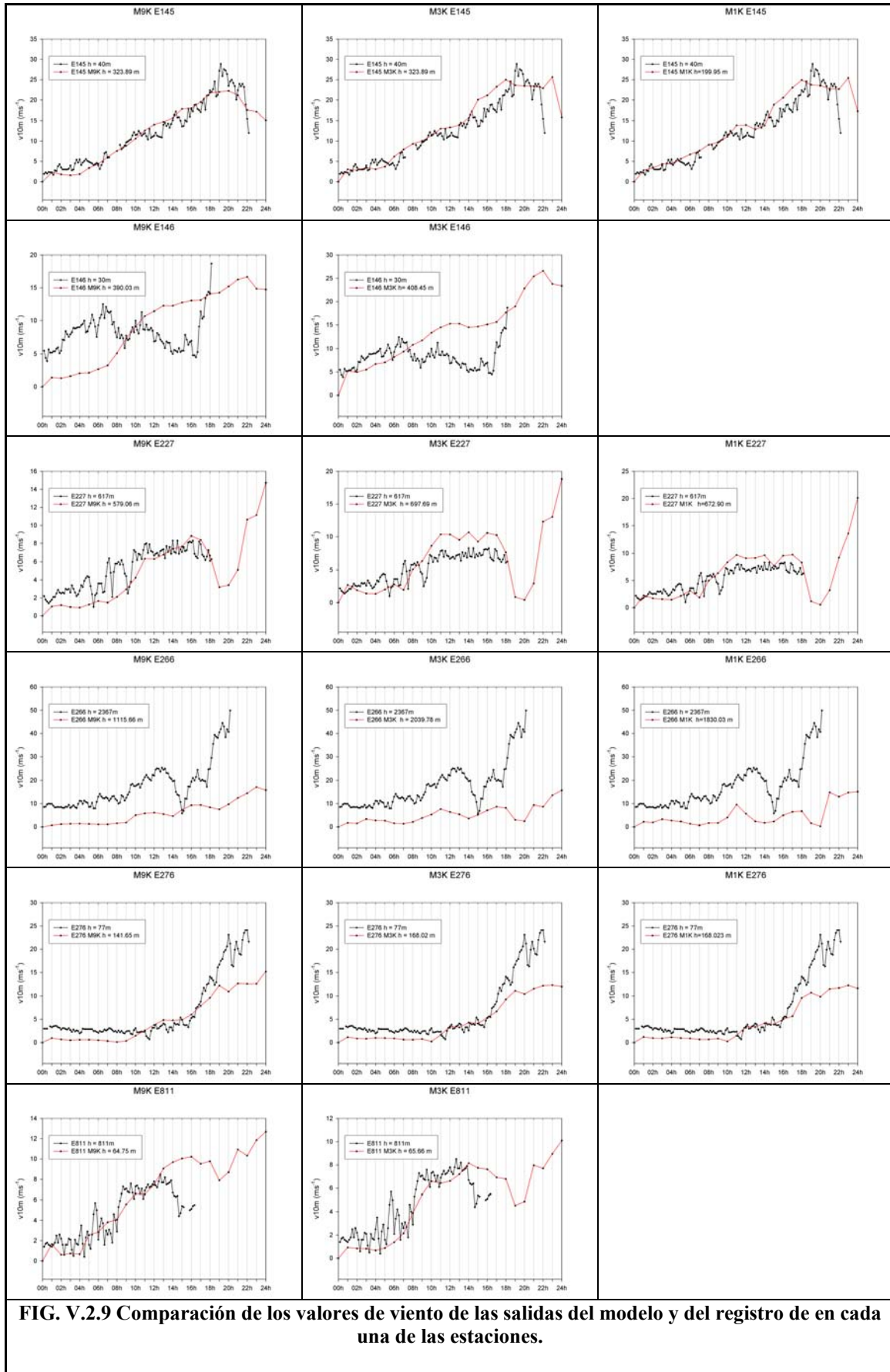


FIG. V.2.9 Comparación de los valores de viento de las salidas del modelo y del registro de en cada una de las estaciones.

La verificación objetiva de las predicciones de viento a 10 m frente a las observaciones de la red de estaciones automáticas del INM, mediante el coeficiente de correlación lineal, indica que no se produce una mejora al aumentar la resolución horizontal del modelo en el caso estudiado.

V.2.3 Conclusiones parciales y otras consideraciones

De este estudio sobre los efectos locales del viento generado por Delta mediante simulaciones de alta resolución con MM5, podemos concluir:

El modelo MM5 en las tres resoluciones horizontales utilizadas M9K, M3K y M1K responde de forma cualitativa a los patrones ondulatorios de viento, que concuerdan con la nubosidad observada mediante imágenes de satélite.

La realización de secciones verticales ha permitido observar con más detalle dichos fenómenos ondulatorios mostrando que:

- El flujo que llega por el oeste tiene carácter ondulatorio y proviene de los efectos orográficos de las islas más occidentales a la de Tenerife.
- Existen máximos de viento previstos muy acusados en las partes altas de la isla con vientos entre 140 y 160 km/h a las 21 UTC, que concuerdan con lo observado.
- Las simulaciones de las 21 UTC muestran máximos de viento en superficie con valores entre 120-160 km/h a sotavento de la montaña, próximo a su base, y muy cerca de la costa pero en la zona marítima.
- En ningún momento en los cortes verticales se reproducen vientos fuertes de ladera de montaña. Al revés se observa disminución del viento (color morado en +21).

La verificación objetiva de las predicciones de viento a 10 m frente a las observaciones de la red de estaciones automáticas del INM, mediante el coeficiente de correlación lineal, indica que no se produce una mejora al aumentar la resolución horizontal del modelo en el caso estudiado.

Una serie de consideraciones pueden tenerse en cuenta sobre el estado del arte de las simulaciones a muy alta resolución:

- La realización de este tipo de simulaciones necesita de unas condiciones iniciales de gran precisión, es decir, una asimilación de datos observacionales del orden de la resolución máxima a simular, lo que no ha sido posible en los experimentos realizados con MM5.
- Las parametrizaciones físicas de los efectos por debajo de la resolución máxima, en este caso 1 kilómetro, son materia de estudio y de desarrollo en la actualidad. En los centros meteorológicos mundiales se mantienen como resoluciones operativas, y por lo tanto más fiables, las resoluciones de hasta 5 kilómetros.

- El estudio de estos fenómenos locales y con orografía escarpada y compleja requiere que la densidad de observaciones en el área de estudio se incremente considerablemente, tanto para asimilar los datos y obtener una buena condición inicial, como para la posterior verificación de las salidas propuestas por los modelos.