

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS MESOESCALAR Y EFECTOS LOCALES**

#### **III.1 Análisis de los datos de viento en superficie**

#### **III.2 Series temporales de algunos parámetros meteorológicos**

*La Palma*

*El Hierro*

*La Gomera*

*Tenerife*

*Gran Canaria*

*Lanzarote y Fuerteventura*

#### **III.3 Efectos de sotavento y modelo conceptual**

#### **III.4 Otros datos de viento**

*Datos del sondeo de Güímar (Tenerife)*

*Vientos en la vertical del radar Doppler en Gran Canaria:  
datos VAD*

*Vientos estimados a partir de trazadores nubosos*

#### **III.5 Precipitación**

#### **III.6 Conclusiones parciales**

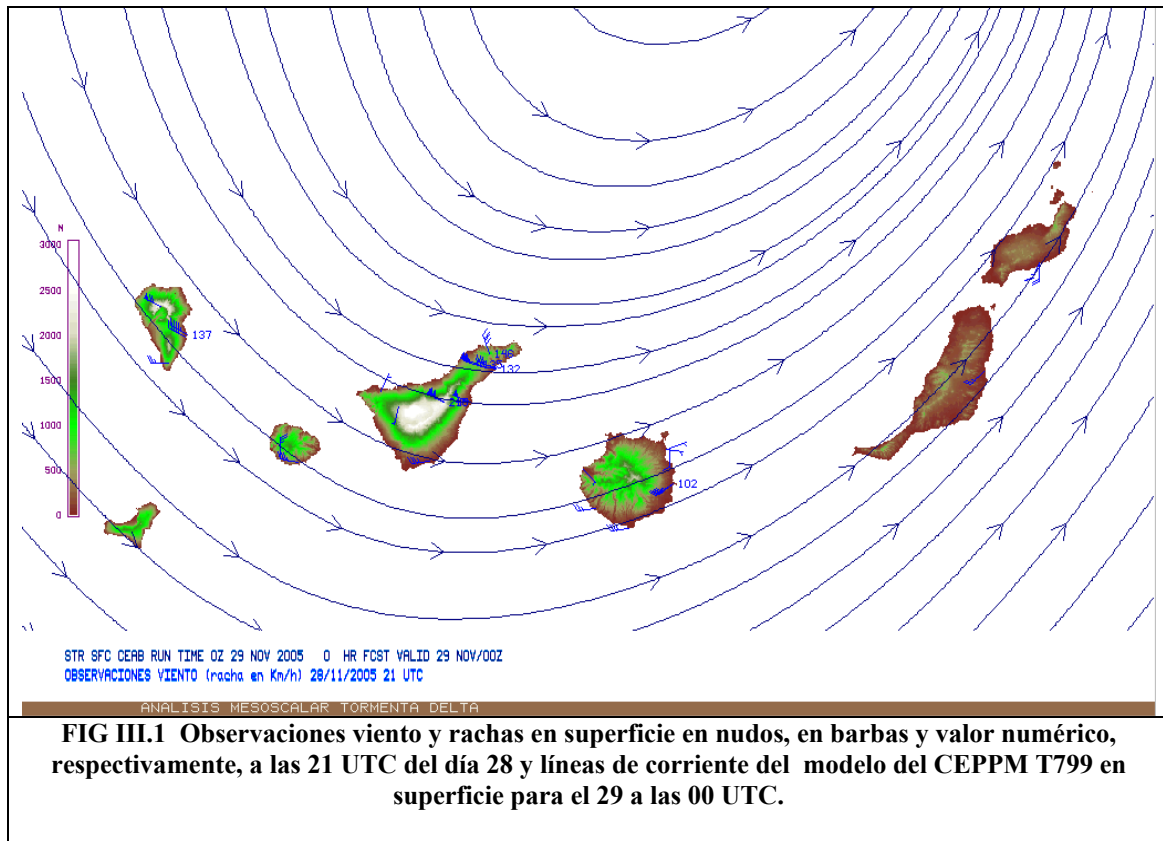
### **III. ANÁLISIS MESOSCALAR Y EFECTOS LOCALES**

Gran parte de los efectos adversos de los restos de la tormenta tropical Delta no se justifica exclusivamente por la intensidad del fenómeno en sí, sino además por efectos locales de escala menor a la de éste, relacionados directamente con la acentuada y compleja orografía insular.

La mayor incidencia de los efectos adversos que Delta produjo sobre las Islas se refiere al viento. Otros como precipitaciones significativas o el oleaje no fueron significativos. Las zonas de precipitación se concentraron en el mar, según los datos de satélite y se situaban en el flanco nororiental de la perturbación. De las olas no se tiene constancia que produjera efectos adversos posiblemente por la extensión, fuerza y persistencia de los vientos a nivel del mar sobre las aguas circundantes a las islas que no fueron suficientes para generarlas con intensidad. Por estos motivos, en este capítulo se focalizará en el estudio en el viento. Se dividirá éste en dos subapartados, uno relativo a los vientos medidos en las estaciones de superficie del INM y un segundo donde se hará un breve análisis de los vientos en la vertical medidos por sondeos, por el radar de Gran Canaria en modo Doppler, vientos estimados a partir de trazadores nubosos, etc. En el Anexo III aparecen otros datos, figuras relevantes y complementarias de este apartado, referentes a estaciones que no son de la red del INM.

#### **III.1 Análisis de los datos de viento en superficie**

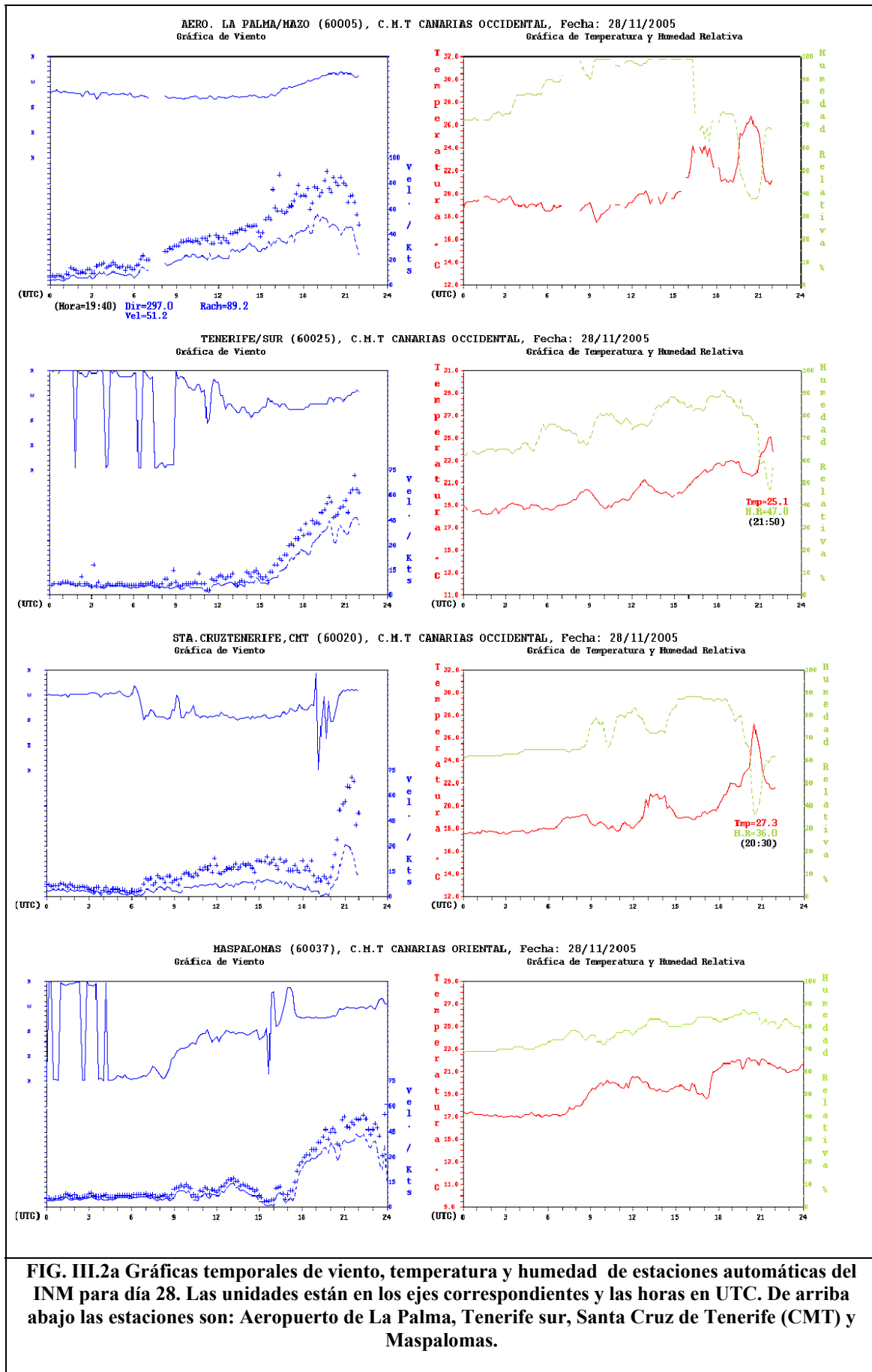
En el mapa de la figura III.1 se representan todas las observaciones de viento (en barbas) registradas en distintas redes de observación (ver Anexo III.1 para su ubicación) a las 21 UTC del día 28, momento de máxima incidencia del viento sobre gran parte del Archipiélago, junto con el flujo general caracterizado por las líneas de corriente (líneas con flechas) del análisis más próximo, 00 UTC del día 29, del modelo CEPPM T799 de 20 km de resolución espacial, que en adelante nos servirá de referencia general; con indicación (en caracteres numéricos) de la racha máxima de viento registrada entre las 20 y 21 UTC, en km/h.



Se puede observar que aunque el viento es fuerte o muy fuerte en muchos puntos, en otros es incluso débil o moderado. Esto en algunos casos se explica por encontrarse en zonas protegidas a sotavento del flujo general, mientras en otros no se puede explicar de esta manera. Así en la isla de Tenerife, mientras en la zona noroeste situada a barlovento del flujo general, de dirección WNW, las observaciones son poco destacadas; es en diversas zonas de la vertiente sureste situadas a sotavento donde se registran los vientos más intensos, con mayor incidencia de daños en infraestructuras en ésta zona, principalmente en el Valle de Güímar. La explicación a este hecho aparentemente paradójico, que en menor medida también se dio en la isla de La Palma, tratará de esclarecerse a continuación.

### III.2 Series temporales de algunos parámetros meteorológicos

En las gráficas de la figura III.2a se representan las series de datos diezminutales del día 28 de dirección y velocidad (media y máxima) del viento, temperatura y humedad relativa, de algunos de los observatorios costeros de la red de estaciones automáticas del INM (ver Anexo III).



**FIG. III.2a Gráficas temporales de viento, temperatura y humedad de estaciones automáticas del INM para día 28. Las unidades están en los ejes correspondientes y las horas en UTC. De arriba abajo las estaciones son: Aeropuerto de La Palma, Tenerife sur, Santa Cruz de Tenerife (CMT) y Maspalomas.**

Se observa que la incidencia de vientos fuertes no comienza simultáneamente en todos los observatorios, aunque los valores máximos de velocidad del viento se producen en todos ellos a partir de las 18 horas UTC, anteriormente en el del Aeropuerto de La Palma por ser el más occidental. Al margen de la hora exacta sí se observa en varios de ellos que éstos se producen en coincidencia con un incremento súbito de la temperatura (de hasta 5°C) acompañados de consiguientes descensos de humedad. Este efecto se produce precisamente en los instantes temporales en los que las localizaciones correspondientes quedan a sotavento del flujo general. Es significativo que en el observatorio del Aeropuerto de Tenerife Sur se produce posteriormente al de Santa Cruz de Tenerife, ya que éste último se encuentra a sotavento de los flujos de dirección WNW mientras el primero lo es a flujos de NW que se produjeron posteriormente; aunque hay que reseñar que ya en horas anteriores los vientos en el Aeropuerto de Tenerife Sur alcanzan rachas de 45 kt que se explican por efectos de intensificación del flujo de dirección W por la aceleración derivada de la agrupación de la líneas de corriente de un flujo que bordea un obstáculo horizontalmente por el principio de conservación de la masa.

En cuanto a la gráfica de la estación de Maspalomas (al sur de Gran Canaria) el efecto de ascenso térmico no se observa ya que este observatorio no queda en ningún momento a sotavento del flujo general durante el periodo representado, aunque sí se registra un ascenso progresivo en horas vespertinas en el marco de una advección general de aire cálido que acompaña a los restos de la tormenta tropical, además de altos valores de velocidad del viento que se justifican también por el efecto comentado al final del párrafo anterior.

Se pasará a describir brevemente lo acontecido en algunas zonas de cada isla, según los datos observados.

### ***La Palma***

En La Palma a medida que transcurría el día se aprecia una intensificación gradual del viento medio, que es del SW, aproximadamente, hasta las 18 UTC. En este momento las rachas superaron en unos 20 nudos al viento medio (20 y 30%), la temperatura aumentó gradualmente, y la humedad no presentó cambios significativos. Entre las 19 y 22 horas, el viento aumentó súbitamente coincidiendo con un giro a W-NW, alcanzándose los máximos en viento medio y rachas. Además, en este momento se produjo en el aeropuerto un máximo de temperatura de 27 °C con un mínimo de humedad relativa por debajo del 40 %, y las rachas excedieron al viento medio entre 30 y 40 nudos (entre el 80 y 100%). Por otro lado, la presión sufrió un descenso significativo, alcanzándose el mínimo 991 hPa justo a las 19:50. Hay que destacar que los cambios en temperatura y humedad no se aprecian en cumbres de la isla. A partir de las 23 horas el viento cambió a dirección NW y disminuyó en intensidad.

### El Hierro

En El Hierro se aprecia la misma evolución, observándose a partir de las 17 UTC un aumento significativo en el viento medio y rachas, así como la singularidad del aumento de temperatura y disminución de la humedad y presión.

### La Gomera

En La Gomera el comportamiento, es similar, si bien la presión mínima y vientos máximos se alcanzaron a las 19 UTC, con una hora de retraso respecto a El Hierro.

### Tenerife

En Tenerife, los vientos empezaron a ser significativos en cumbres de la isla (ver en la figura III.2b los datos de Izaña) a primeras horas del día, de manera que a las 12 UTC tenía 50 nudos de viento medio y rachas de 60 nudos con dirección dominante SSW. Se mantuvo de esta forma con pequeñas variaciones hasta las 18 UTC, en que el viento aumentó violentamente, alcanzando a las 20 UTC los 100 nudos de viento medio, y las rachas superaban los 125 nudos. La temperatura no sufrió variaciones significativas, pero la humedad sí bajó significativamente hasta un 70 %.

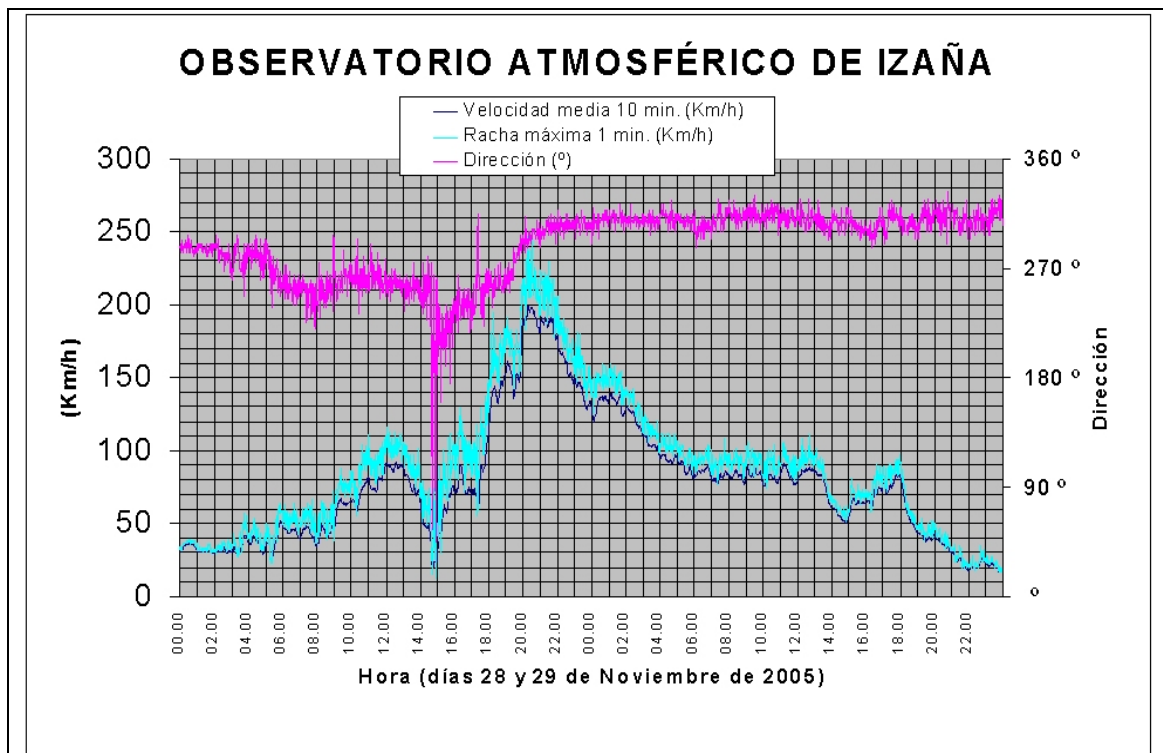


FIG. III.2b. Gráfica de datos de viento registrados en el Observatorio de Izaña (Tenerife, 2.367 m.) desde las 00 UTC del día 28 a las 24 UTC del día 29.

Debido a la abrupta orografía de la isla, las estaciones costeras tuvieron un comportamiento muy diferente según la orientación. En el aeropuerto de Tenerife Sur el viento fue aumentando gradualmente del SW, a medida que se acercaba la depresión. Las rachas no diferían mucho del viento medio. A las 20 UTC hubo un pico en intensidad, y a las 22 UTC, giró a NW y aumentó de nuevo, alcanzando en este

momento las rachas más intensas, que coincidía con aumento de temperatura y descenso de humedad por debajo del 50 %.

En Santa Cruz de Tenerife (en el nordeste de la isla y quedando a la sombra de dos cordilleras situadas al nordeste y oeste), los vientos fueron del SW flojos a moderados en gran parte del día. Únicamente experimentó un ascenso importante a partir de las 20 UTC, en que el viento giró a NW, alcanzando un máximo de 30 nudos de viento medio y rachas de 75 nudos, coincidiendo con un súbito aumento de la temperatura y descenso pronunciado de la humedad relativa por debajo del 40 %.

El aeropuerto de Los Rodeos está situado en el nordeste de la isla a una altura aproximada de 600 metros y en un corredor entre dos cordilleras con la pista orientada NW-SE (esta última se asoma a Santa Cruz). Durante la mañana y horas de la tarde, el viento tenía orientación sur con una media de 20 nudos y rachas de 30. A las 21 UTC el viento viró bruscamente a W-NW y aumentó violentamente para alcanzar velocidades medias de unos 60 nudos y rachas cercanas a los 75 nudos. Los vientos se mantuvieron intensos durante gran parte del día siguiente, si bien la intensidad bajó prácticamente a la mitad.

### ***Gran Canaria***

En Gran Canaria se apreció un ascenso de temperaturas a medida que se acercaba la depresión si bien no le acompañó, en general, un descenso significativo en la humedad, salvo en la ciudad de Las Palmas que bajó por debajo del 60 % entre las 22 y 23 UTC. En ninguna estación de las consultadas (todas costeras) se superaron los 50 nudos de racha, apreciándose una mayor variabilidad tanto en dirección como en intensidad respecto al resto de islas.

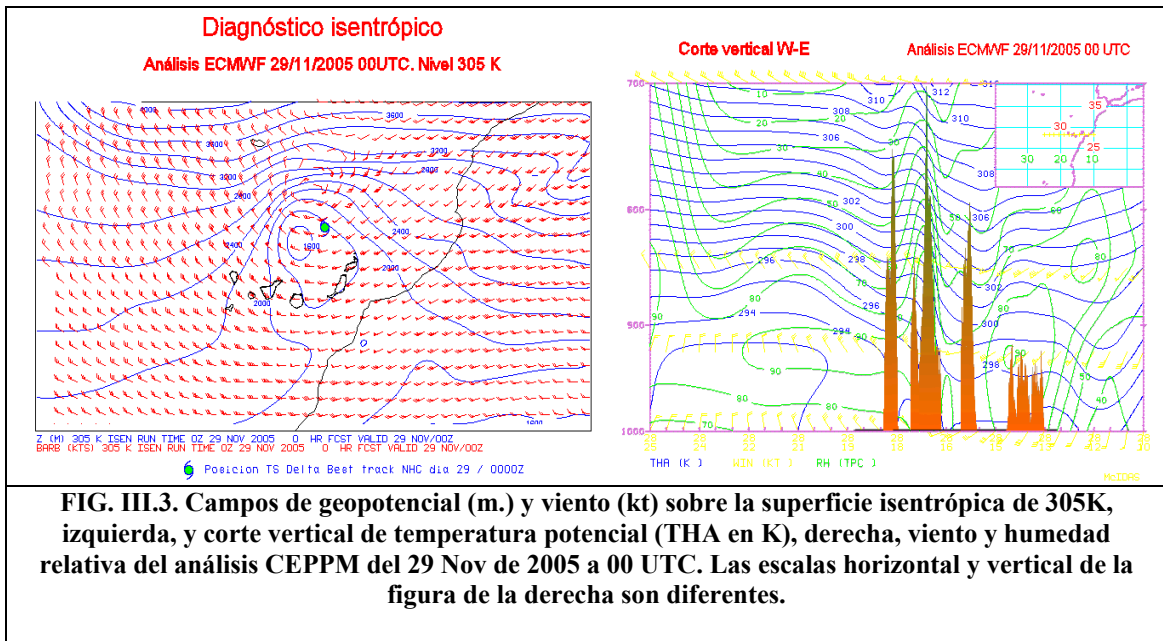
### ***Lanzarote y Fuerteventura***

Por lo que respecta a Lanzarote y Fuerteventura se puede comentar sus registros de una forma conjunta, ya que presentaron características similares. Tuvieron vientos del SW moderados, hasta que a partir de las 21 UTC aumentaron rápidamente y tener un pico de unos 38 nudos con rachas por debajo de los 50 nudos, un poco después de las 23 UTC. Durante las primeras horas del día 29, el viento sufrió un ascenso hasta un máximo de 54 nudos con rachas de 71, coincidiendo con la singularidad del máximo de temperatura- mínimo de humedad, aunque más suave que en islas anteriores, y coincidiendo con un mínimo de presión y cambio de la dirección del viento a W, y posteriormente a NW con un significativo debilitamiento.

## **III.3 Efectos de sotavento y modelo conceptual**

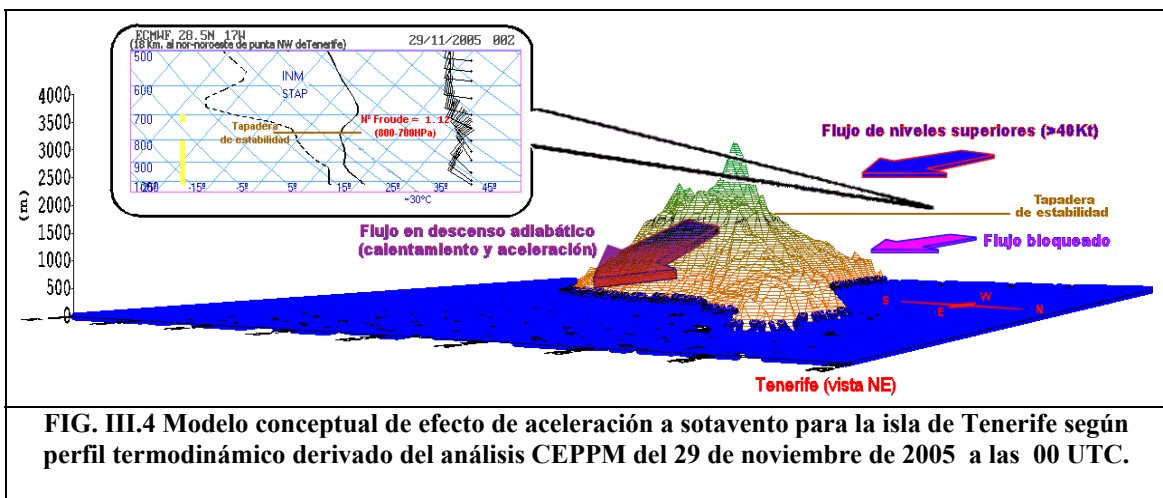
Estos efectos de rachas de viento muy fuertes coincidentes con súbitos aumentos de temperatura se pueden explicar por la presencia de intensos flujos que desde niveles superiores remontan un obstáculo orográfico para una vez superado éste descender adiabáticamente (con el derivado calentamiento por compresión) que en la bibliografía anglosajona se denominan "downslope windstorm". Dicho efecto se produce en condiciones determinadas por el estado termodinámico de la baja troposfera cuando vientos intensos se combinan con obstáculos orográficos notables en entornos de

estabilidad, tratándose básicamente de una ponderación de la energía cinética y potencial del flujo. La primera viene dada por la intensidad del viento y la segunda por su estado termodinámico ¿no se entiende la segunda?

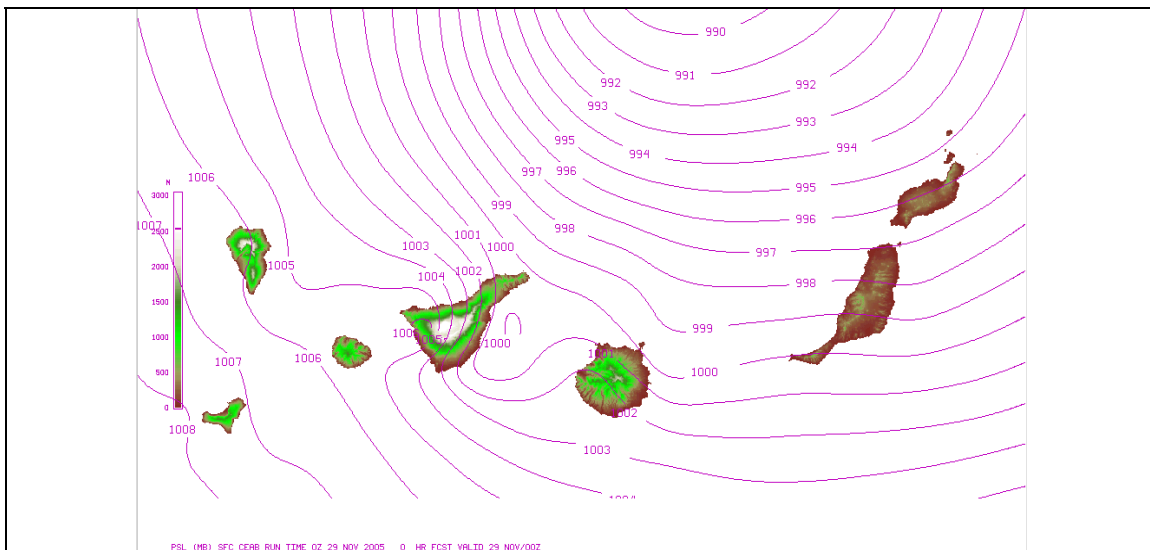


En la figura III.3 el diagnóstico isentrópico a partir del análisis de referencia se observa que en el flanco sur-occidental de la estructura que acompaña a los restos de Delta el flujo es subsidente, induciendo una capa de estabilidad en niveles medios-bajos, mientras el corte vertical añade a éste efecto una fuerte inclinación de las superficies isentrópicas (de temperatura potencial constante) en niveles inferiores al paso de este flujo subsidente sobre la topografía de la isla de Tenerife.

El modelo conceptual del efecto de aceleración y calentamiento a sotavento para la isla de Tenerife para la situación determinada por el análisis del CEPPM del día 29 a 00 UTC podría ser como el que se representa en la figura siguiente, figura III.4.

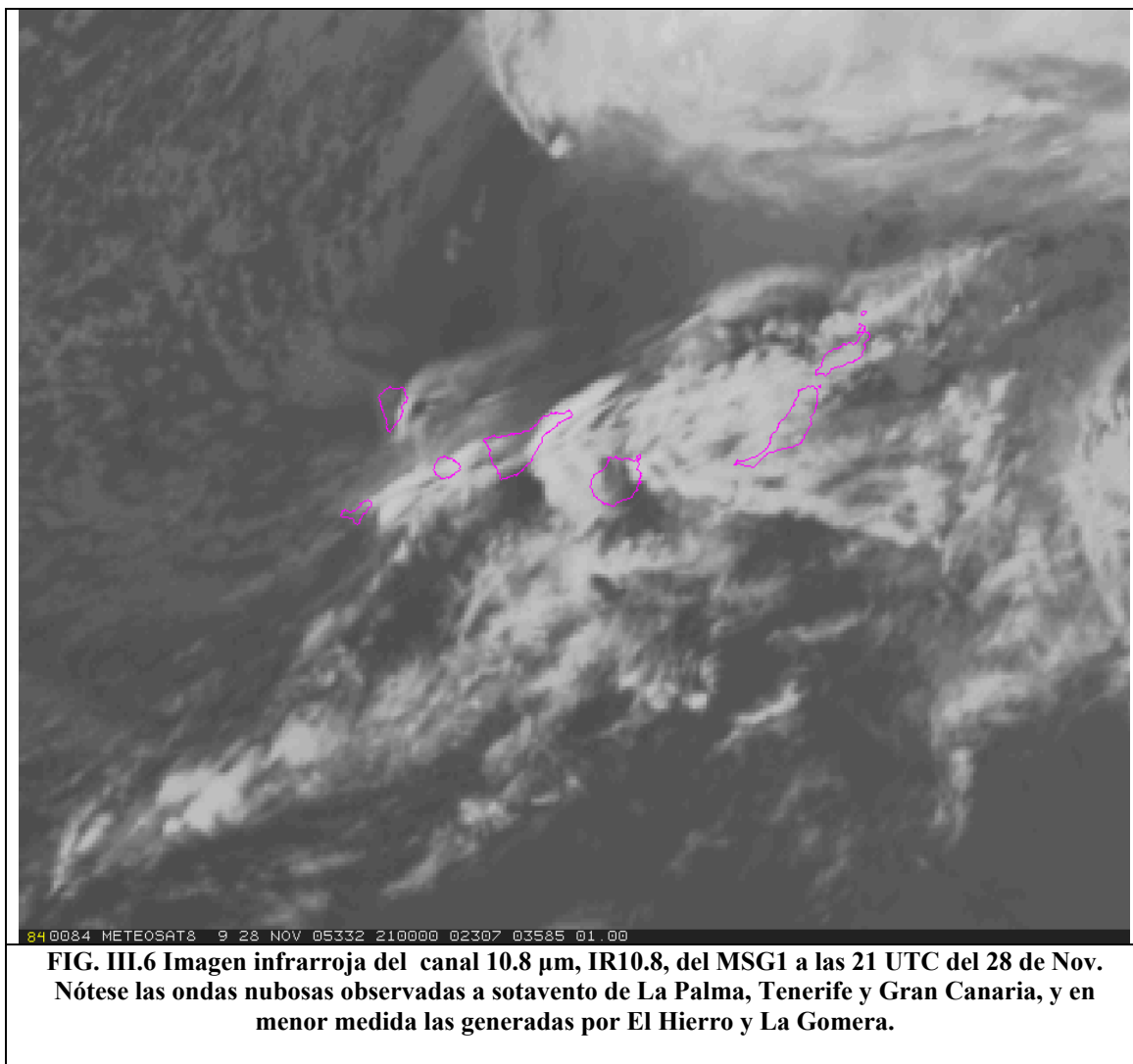


El diagnóstico termodinámico del análisis del modelo del CEPPM indica la presencia por encima de una capa con estabilidad indiferente (superficie-900 hPa) una más estable, y por encima de ésta una cuasi-inversión térmica que representa una tapadera de estabilidad para el flujo incidente sobre el obstáculo. Es el flujo que circula sobre éste el que una vez superado el obstáculo tiende a descender a sotavento generando una onda orográfica que según el valor del número de Froude (1.12) puede transmitirse verticalmente, tanto hacia arriba como hacia abajo. La presencia de una mesobaja a sotavento de la isla, como muestra la figura III.5, causada por obstrucción del flujo de capas bajas a barlovento, favorece que la fase descendente de la onda alcance niveles próximos al del mar y su aceleración por transformación de energía potencial a cinética, lo que explica la ocurrencia de vientos muy fuertes en zonas costeras a sotavento de las islas que alcanzan alturas topográficas suficientes para que se produzca este bloqueo como son las de Tenerife y La Palma.



**FIG. III.5** Presión reducida a nivel del mar (en hPa) del análisis del CEPPM del 29 de noviembre de 2005 a las 00 UTC. Las islas están coloreadas según sus alturas y con la escala de la izquierda.

Esta explicación es coherente con la formación de nubosidad de tipo medio lenticular a sotavento de las citadas islas como se aprecia en la imagen MSG1 de la figura III.6, y está también corroborada por las simulaciones numéricas de modelos no hidrostáticos de alta resolución que se mostrarán en el apartado correspondiente de esta NT.



### **III.4 Otros datos de viento**

Resulta interesante analizar la distribución de los vientos en la vertical de las zonas afectadas, así como el producto de vientos del SAFNWC (Satellite Application Facility of Nowcasting) estimados a partir de los trazadores nubosos con datos del canal HRVIS (High Resolution VIS) del MSG (Meteosat Second Generation).

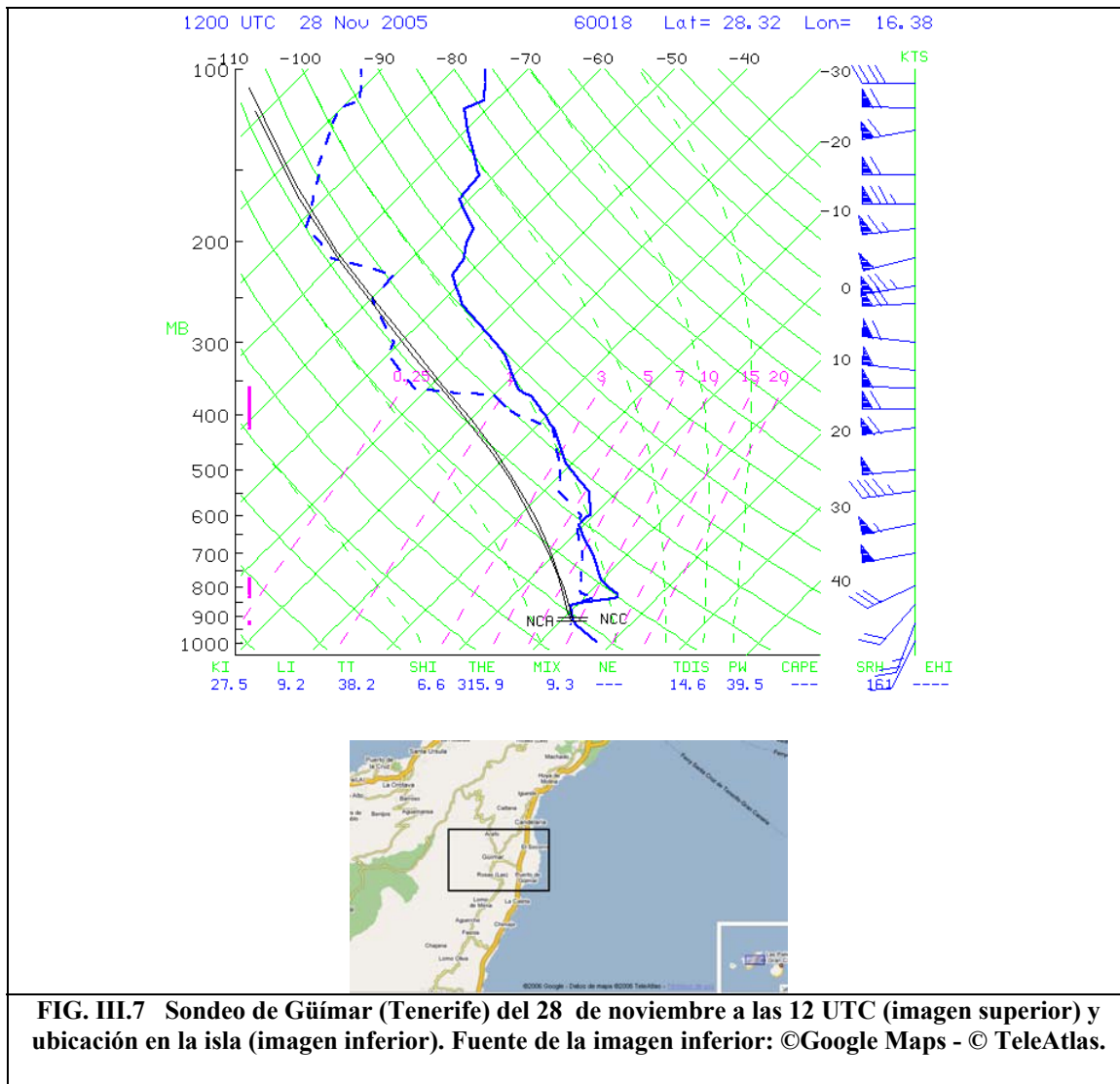
#### ***Datos del sondeo de Güímar (Tenerife)***

Por una parte se dispone de los datos proporcionados por el radiosondeo meteorológico realizado en la isla de Tenerife (en la zona de Güímar) a las 00 y 12 UTC. Los vientos arreciaron desde las 00 UTC a las 12 UTC, llegando a alcanzar en estos momentos los 50 nudos (unos 95 km/h) en 700 hPa, como se ve en la figura siguiente, figura III.7, con un flujo más o menos uniforme en una amplia capa vertical de la atmósfera.

La masa de aire tropical se hace patente en el perfil de temperatura (línea azul continua) y de humedad (línea azul discontinua). Ambos están muy "juntos", síntoma del alto contenido de humedad en capas bajas y medias. Como consecuencia de ello, los niveles de condensación convectivo y por ascenso (NCC y NCA), que corresponderían con la altura de las bases de nubes teóricas, estuvieron muy bajos. El contenido de agua precipitable, PW, en mm, fue alto, de 39,5 mm. La inversión de capas bajas pudo estar motivada por la diferencia térmica de una masa tropical cálida de niveles medios-bajos, conforme a lo mostrado por los modelos numéricos, que quedó por encima de otra más "fresca" asociada a la capa límite marítima.

El viento del SW en capas bajas aumentó rápidamente con la altura pasando a ser muy intenso y de componente oeste. El giro anticiclónico del viento en capas bajas se puede asociar, en primera aproximación, con advección cálida en dichos niveles. Además, a la inversión tan marcada en niveles inferiores también se le suma otra reflejada en niveles medios, impidiendo el desarrollo de convección profunda, como queda puesto de manifiesto en las imágenes de satélite de esta hora.

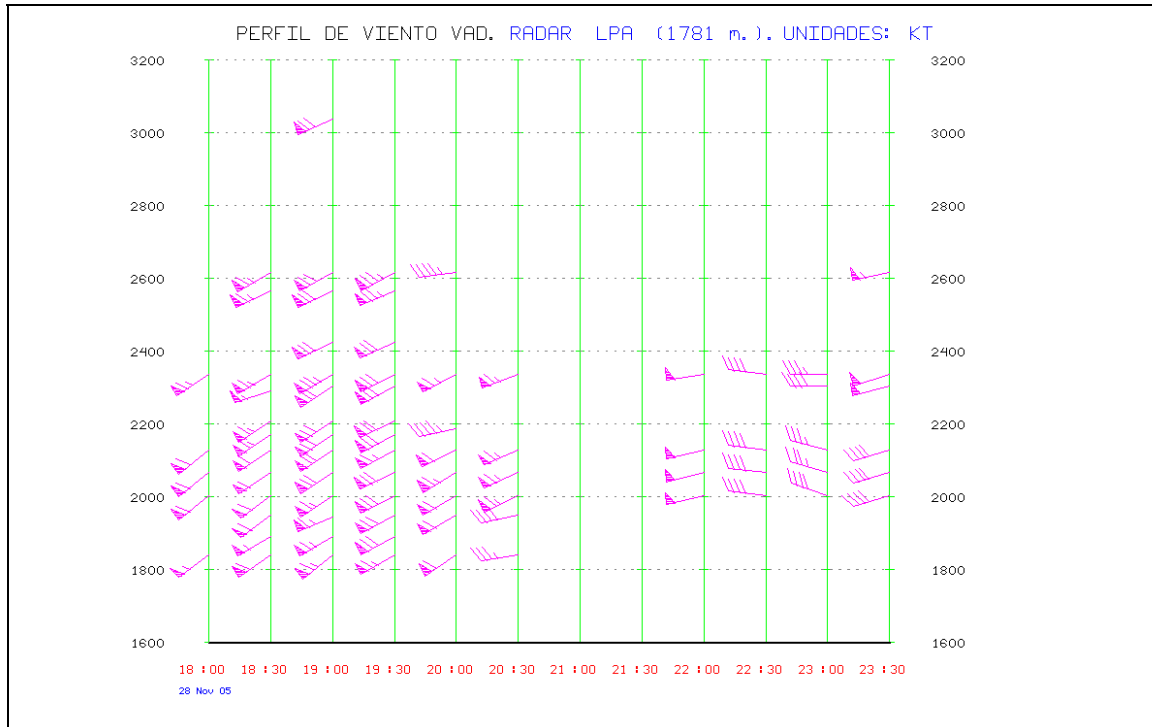
El sondeo y los índices convectivos (KI, LI, TT, CAPE) no muestran inestabilidad estática. En el sondeo se reflejan tres capas potenciales de nubes: bajas en la capa límite, medias a 700-600 hPa, posiblemente favorecedoras de nubes orográficas y vistas en las imágenes de satélites, y altas a 450 hPa, aproximadamente.



### *Vientos en la vertical del radar Doppler en Gran Canaria: datos VAD*

La técnica VAD (Velocity Azimuth Display), aplicada a los radares con capacidad Doppler, permite estimar el perfil vertical del viento horizontal sobre el radar (Browning and Wexler, 1968). Los vientos horizontales estimados por la técnica VAD están promediados en el INM alrededor de unos 25 km de radio en torno al radar y se obtienen siempre que existan señales significativas de blancos iluminados por el radar Doppler (Conejo y Elizaga, 2004; Conejo y Elizaga, 2003). Al ser vientos promediados, esta técnica no recoge ni mide los máximos ni las rachas, pero permite obtener una idea cualitativa y cuantitativa del flujo aéreo sobre el radar.

Desde primeras horas del día 28 los vientos arrecieron en la vertical del radar y aumentaron hasta los 75 nudos a las 19:30 UTC a 2300 m. de altura, de componente SW, ver figura III.8. Posiblemente, entre las 21 y 21:30 UTC el sistema radar o los enlaces de comunicaciones dejaron de funcionar por falta de fluido eléctrico u otro fallo técnico.



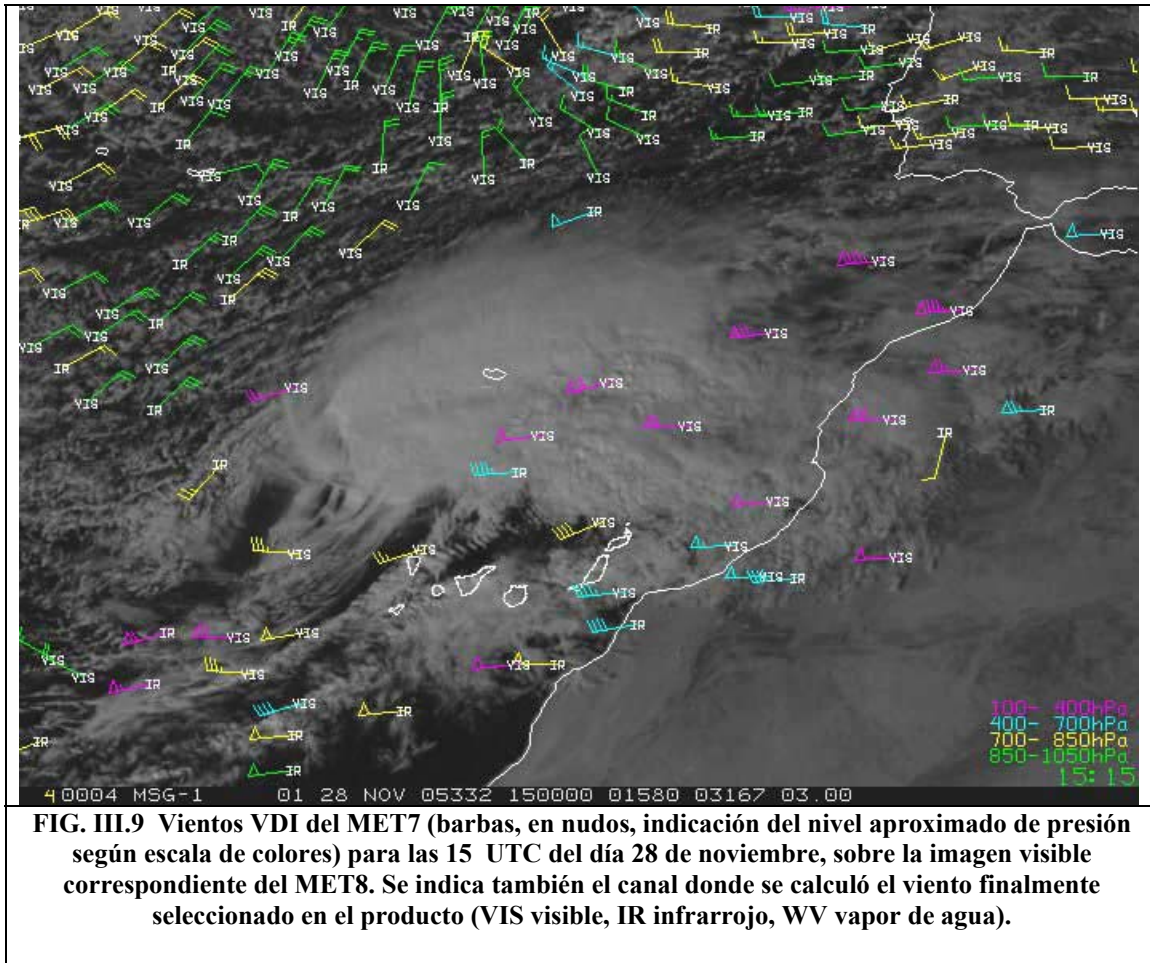
**FIG. III.8 Datos VAD del radar de Gran Canaria en modo Doppler (a 1781 m snm) entre las 18 y 23:30 UTC del día 28. Vientos horizontales medios estimados en nudos sobre el nivel del radar cada media hora y representados de forma convencional.**

Los vientos amainaron después de las 20 UTC, aunque seguían siendo intensos, pasando a tener una componente oeste más persistente. Durante el día 29 los vientos VAD sobre el radar fueron perdiendo fuerza respecto al día anterior, quedando flujos del NW de 20-30 nudos.

#### ***Vientos estimados a partir de trazadores nubosos***

Resulta sumamente interesante analizar los vientos estimados a partir de imágenes de alta resolución del MSG en la zona de Canarias. La técnica se basa en un proceso objetivo de seguir, analizar y caracterizar el movimiento y la altura de los trazadores nubosos identificados sucesivamente en periodos de 15 min. Las secuencias de imágenes de satélite evidencian también el rápido desplazamiento de las nubes conducidas por los intensos vientos.

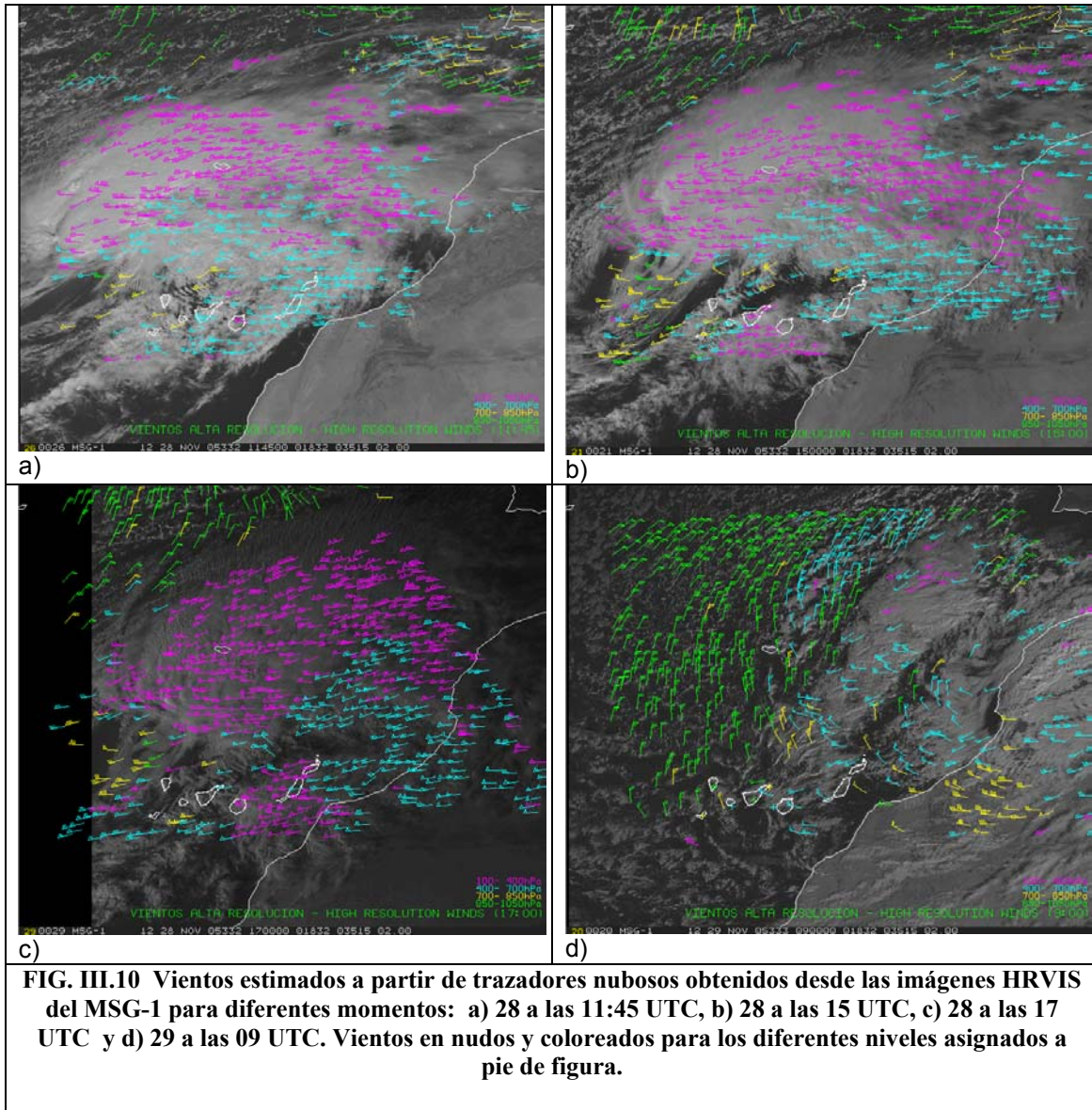
A este respecto es de gran ayuda el producto de Vientos de Desplazamiento en Imágenes, VDI, figura III.9. Estos vientos se derivan a partir del desplazamiento de trazadores nubosos en imágenes visibles consecutivas del MET7 o del MET8/MSG1. La imagen siguiente muestra los resultados disponibles en la fecha en cuestión partiendo de los datos del MET7 pero superpuestos en la imagen VIS0.6 correspondiente del MET8.



Desgraciadamente no estaban operativos en la zona de Canarias estos datos de vientos. Se han generado las salidas correspondientes a los días 27-29 usando los datos y algoritmos desarrollados en el SAF de "Nowcasting". En la figura III.10 se muestran dichos vientos para diferentes periodos.

Se observa que los datos disponibles de vientos de estas tres fuentes de información generadas en el INM confirmaban la intensidad del flujo a diferentes niveles asociados todos a la perturbación Delta. Los vientos estimados fueron muy intensos durante el día 28 de componente W-SW para pasar a componente N a lo largo del día 29.

En el Anexo IV de esta NT aparecen datos meteorológicos obtenidos de las estaciones en la isla de La Palma, pertenecientes al propio Parque Nacional de La Caldera de Taburiente y los relativos a los observatorios astronómicos del Roque de los Muchacho, que complementan a los datos oficiales de la red del INM.

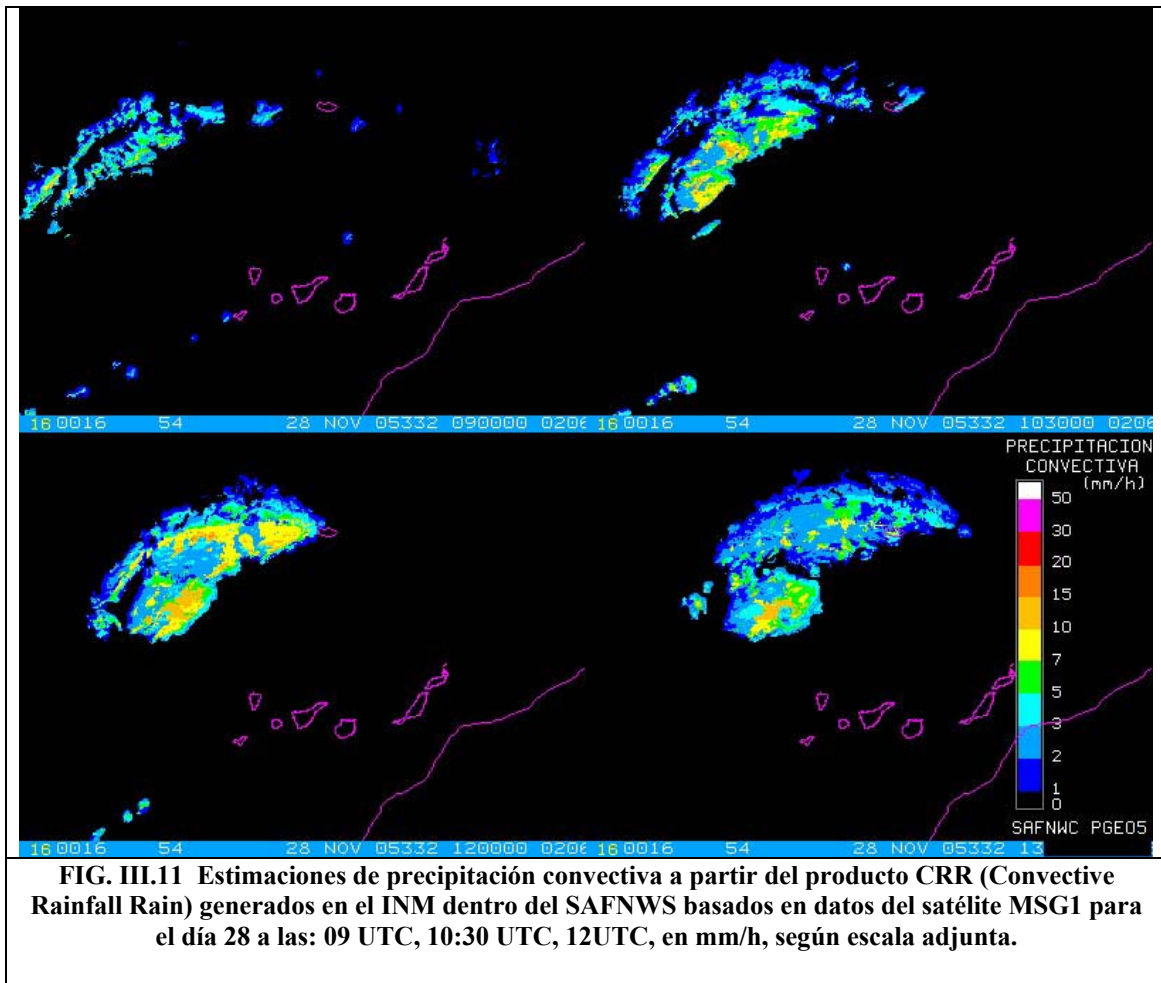


Los datos de viento obtenidos por el satélite QuikSCAT son de un gran valor en las zonas marítimas donde la ausencia de datos de superficie es muy notoria. Se deja el análisis de estos datos e imágenes para el apartado V de esta NT relativo a modelos y verificaciones.

### III.5 Precipitación

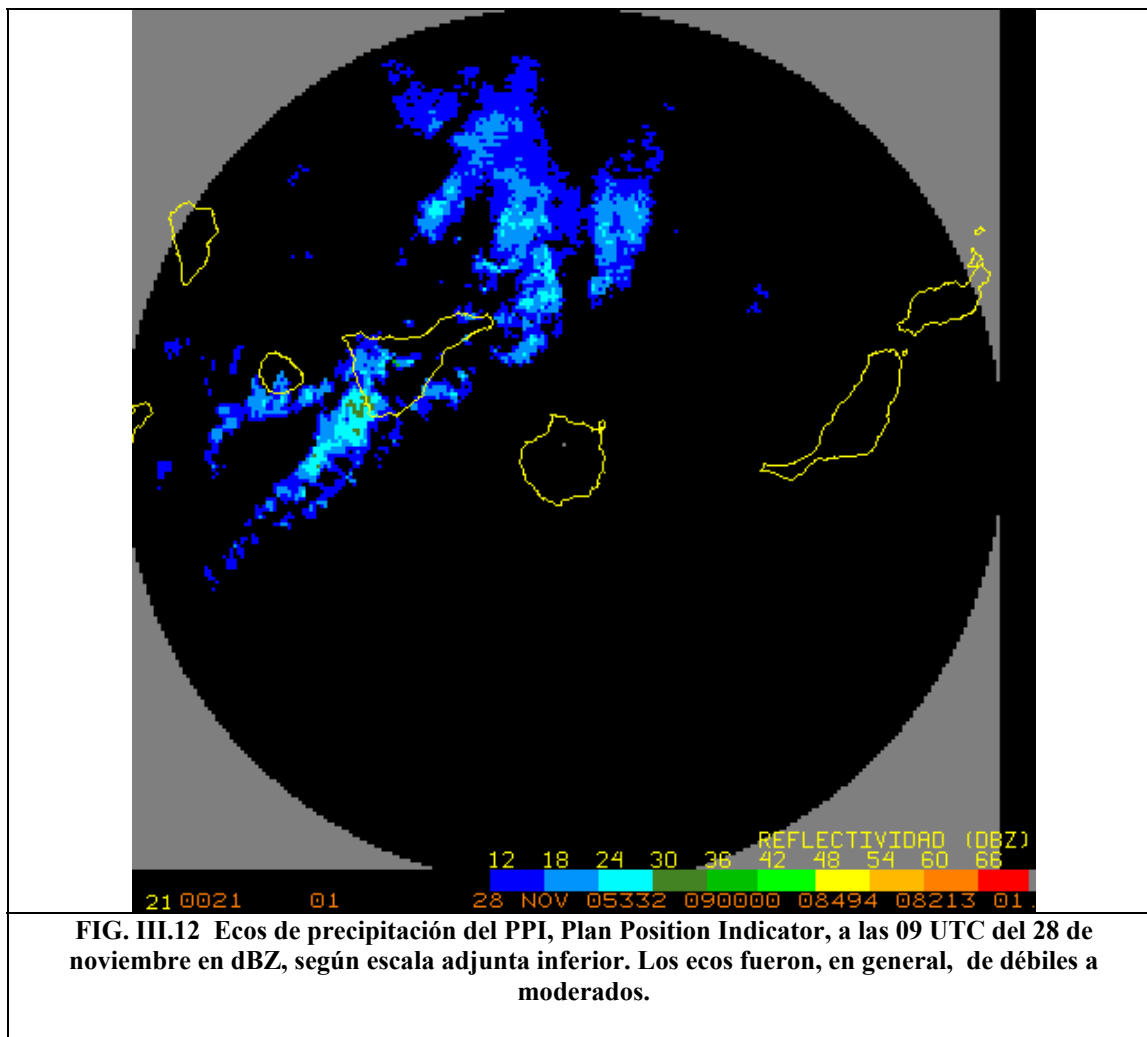
Como se ha comentado en los apartados anteriores, las transiciones extratropicales llevan consigo una pérdida en la simetría nubosa y un desacople espacial entre las estructuras asociadas a lluvias y vientos intensos. Los modelos conceptuales sinópticos presentados en el Anexo II muestran claramente que las zonas de lluvia intensa suelen quedar al norte de la trayectoria del centro de la baja en superficie, mientras que las zonas de vientos intensos se suelen situar algo más al sur. Las zonas de precipitación convectiva quedaron alejadas del Archipiélago como se muestra en las estimaciones basadas en datos del MSG1, ver figura III.11. Las imágenes de precipitación obtenidas

por satélites de baja órbita y con sensores de microondas también muestran este desplazamiento hacia el norte de la precipitación respecto al centro de la baja.



La lluvia fue un fenómeno de menor importancia en Canarias y solamente algunas zonas de precipitación asociadas a bandas pocas activas se acercaron al Archipiélago como se observa en las imágenes de satélite y como muestra el radar meteorológico del INM. Hay que tener en cuenta que el radar de Canarias está situado en la isla de Gran Canaria a 1781 m. de altura sobre el nivel del mar para evitar los grandes obstáculos montañosos y la inversión de los alisios. Su altitud y la geometría descrita por el haz del radar le impiden ver con exactitud lo que acontece en superficie, pero aún así es una herramienta muy útil en la vigilancia de fenómenos adversos ligados a precipitación.

El radar nos muestra ecos de reflectividades que se movían muy rápidamente como corresponde a sistemas que se desplazaban por vientos muy intensos. Los ecos ligados a la precipitación predominaron en la primera mitad del día 28 y, sobre todo, en las islas occidentales y centrales. Ver figura III.12 como ejemplo.



Las imágenes posteriores, no mostradas aquí, daban una señal más débil que la de la figura anterior. Los datos de superficie también corroboran que la precipitación fue un actor secundario en esta situación sobre Canarias.

Datos del TRMM, the Tropical Rainfall Measuring Mission, basados en radar a bordo de satélites de baja órbita, también pueden ser usados para estimar la precipitación desde el espacio en zonas donde hay una ausencia notable de información de este tipo. Se remite al lector al capítulo V donde se mostrarán algunas imágenes del TRMM cuando sobrevolaba Delta.

### III.6 Conclusiones parciales

Como conclusión parcial de este capítulo se destaca la determinante influencia de los efectos orográficos locales en la ocurrencia de vientos de intensidad superior a la esperada en zonas costeras del sureste de las islas de mayor orografía, Tenerife y La Palma esencialmente, así como su sucesión temporal. Por ejemplo en la zona del valle de Güímar estos efectos comenzaron cuando el flujo general adquirió dirección WNW (hacia las 20 UTC) y cesaron cuando la dirección era ya NNW (hacia las 23 UTC), y por tanto la barrera orográfica que debía superar el flujo general descendió por debajo

de los 2.000 m., no siendo el estrato a ese nivel suficientemente estable para inducir una onda vertical.

En este efecto, además de la orografía, jugaron un papel primordial tanto el estado termodinámico de estabilidad producido por una zona subsidente asociada a la circulación sobre el flanco meridional de la perturbación, como la intensidad de los vientos a escala general en niveles por encima de la superficie.

La citada zona subsidente fue causante igualmente de la práctica ausencia de precipitaciones durante las horas de máximo impacto de la perturbación, mientras que éstas se reanudaron en horas posteriores asociadas ya a la descarga fría sobre el flanco occidental de la perturbación resultante de su interacción con una perturbación fría de niveles altos que se descolgó desde el norte.

Ni la precipitación ni el oleaje en la costa fueron elementos adversos en esta situación.