

**DÍAS 23 Y 24 DE ENERO DE 2009:
VIENTOS CON RACHAS
HURACANADAS EN EL TERCIO
NORTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA.
EFECTOS EN ASTURIAS,
CANTABRIA Y PAÍS VASCO.**

María Pilar Sanz Moral

**AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGIA (AEMET)
DELEGACIÓN TERRITORIAL EN CANTABRIA**

Febrero 2011



DÍAS 23 Y 24 DE ENERO DE 2009: VIENTOS CON RACHAS HURACANADAS EN EL TERCIO NORTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA. EFECTOS EN ASTURIAS, CANTABRIA Y PAÍS VASCO.

M^a Pilar Sanz Moral

*Equipo Técnico del Grupo de Predicción y Vigilancia
Delegación Territorial de AEMET en Cantabria*

1. Introducción

Durante las últimas horas del viernes 23 y la mañana del día 24 de Enero de 2009, se registraron vientos de fuerza huracanada, de componente Oeste, en las comunidades de Asturias, Cantabria y País Vasco (Costa Norte de la Península Ibérica). Este temporal afectó también, con gran violencia, al resto de la mitad Norte de la Península Ibérica, originando 13 víctimas mortales y cuantiosos daños materiales. Se produjeron precipitaciones y algunas tormentas.

La situación meteorológica causante de estos vientos persistió, aunque con menor intensidad, durante el resto del día 24 y el día 25 y afectó al Sur de Francia y al Norte de Italia. Tuvo una gran repercusión mediática, por la fuerza y excepcionalidad del fenómeno y también porque afectó a varios países: España, Francia e Italia, donde se produjeron pérdidas humanas y daños materiales.

En la figura siguiente (Fig. 1) se resume el paso de la borrasca a través del Cantábrico, con las rachas máximas registradas en algunos puntos significativos, así como a la hora en que se produjeron (entre las últimas horas del día 23 y la mañana del día 24)

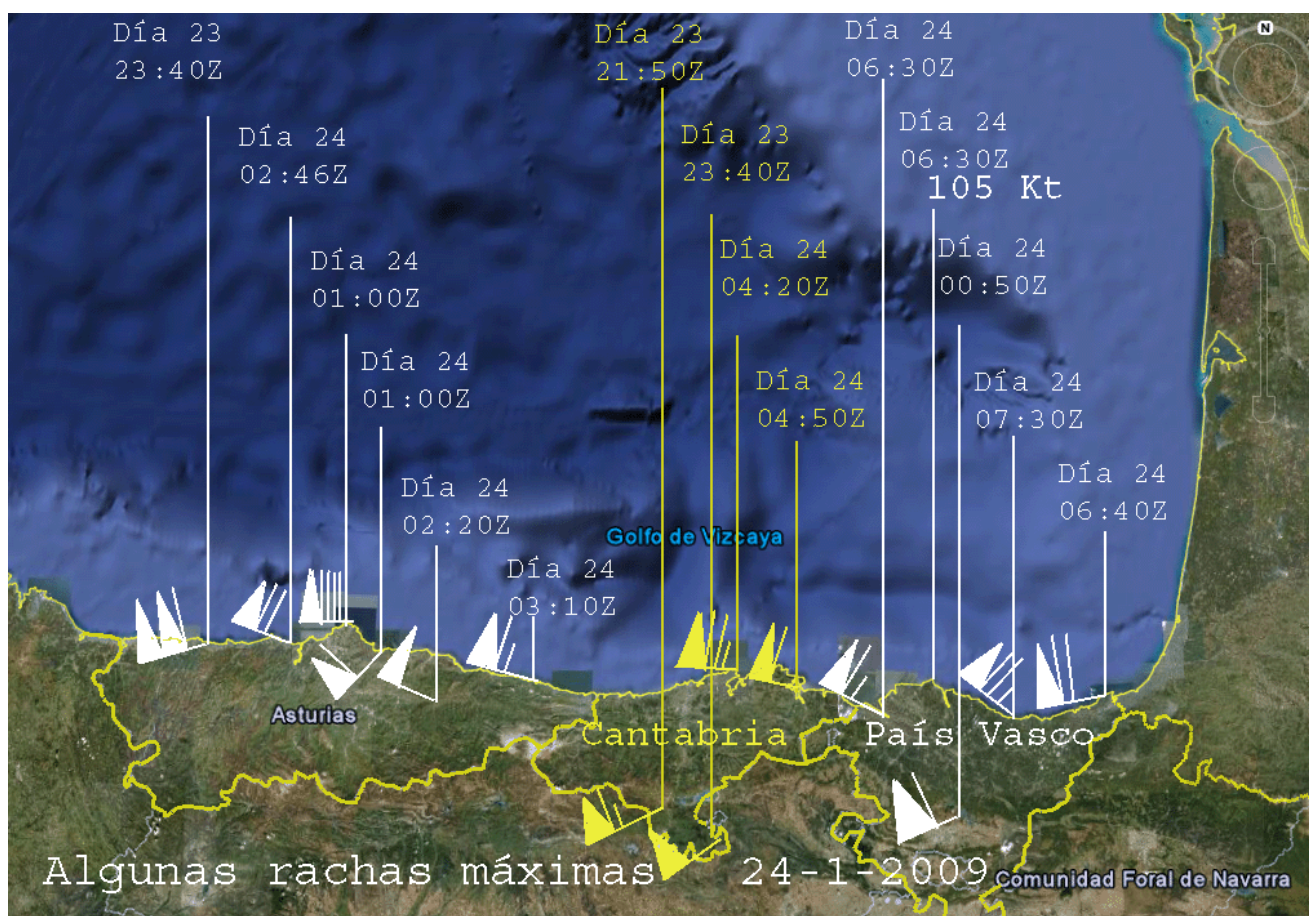


Fig. 1: Cronograma de rachas máximas registradas entre las 23:40Z del día 23 y las 06:40Z del día 24 (Δ: 50 nudos, /: 10 nudos)

Datos de rachas de viento en las estaciones AEMET en Asturias, Cantabria y País Vasco, al paso de la borrasca:

ESTACIÓN (CANTABRIA)	RACHA MÁXIMA	DIRECCIÓN	FECHA	HORA (UTC)
ONTON	124 Km/h		24/01/2009	07:00
SANTANDER	140 Km/h	270° (W)	24/01/2009	04:20
AEROP. PARAYAS (Santander)	134 Km/h	277° (NW)	24/01/2009	04:26
TORRELAVEGA	135 Km/h	280° (NW)	24/01/2009	05:30
VILLACARRIEDO	102 Km/h	250° (SW)	24/01/2009	04:20
TRETO	104 Km/h	277° (NW)	24/01/2009	04:50
REINOSA	118 Km/h	240° (SW)	23/01/2009	21:50
POLIENTES	90 Km/h	240° (SW)	23/01/2009	23:40

ESTACIÓN (ASTURIAS)	RACHA MÁXIMA	DIRECCIÓN	FECHA	HORA (UTC)
OVIEDO	120 Km/h	250° (SW)	24/01/2009	01:15
GIJON	106 Km/h	200° (SW)	24/01/2009	01:00
AEROP. RANON (Avilés)	128 Km/h	270° (W)	24/01/2009	00:50
CABO PEÑAS	166 Km/h	255° (SW)	24/01/2009	01:00
CABO BUSTO	197 Km/h	262° (SW)	23/01/2009	23:40
LLANES	115 Km/h	278° (NW)	24/01/2009	03:10
BARGAEDO	94 Km/h	282° (NW)	24/01/2009	02:20
CUEVAS DE FELECHOSA	90 Km/h	347° (NW)	24/01/2009	03:20
SOTO DE LA BARCA	94 Km/h	300° (NW)	23/01/2009	22:20
CAMUÑO	105 Km/h	280° (NW)	23/01/2009	21:50

ESTACIÓN (PAÍS VASCO)	RACHA MÁXIMA	DIRECCIÓN	FECHA	HORA (UTC)
AEROP. BILBAO	115 Km/h	290° (NW)	24/01/2009	06:30
AEROP. S. SEBASTIAN	126 Km/h	240° (SW)	24/01/2009	06:40
AEROP. VITORIA	110 Km/h	250° (SW)	24/01/2009	00:50
CABO MACHICHACO	187 Km/h		24/01/2009	06:30
PUNTA GALEA	126 Km/h	360° (N)	24/01/2009	04:10
ZUMAYA	133 Km/h	293° (NW)	24/01/2009	07:30
LEKEITIO	103 Km/h	270° (W)	24/01/2009	12:20
SAN SEBASTIAN	92 Km/h	172° (SE)	24/01/2009	07:40

Añadir, como información significativa, la Nota de Prensa del Instituto Español de Oceanografía: “ El pasado sábado 24 de enero a las 7.00 H. y después de registrar un oleaje cuya ola máxima fue de 26.13 metros (la altura aproximada de un edificio de siete plantas, y record en aguas españolas), la Boya Augusto González de Linares (Boya AGL) del Instituto Español de Oceanografía, situada 22 millas al norte de Santander, rompió sus anclajes y quedó a la deriva aunque continuó transmitiendo. El miércoles 28 a las 11.00 H. fue recuperada a 10 millas de San Sebastián y llevada al Puerto de Pasajes.”

2. Antecedentes

Desde el punto de vista meteorológico, se trata de una situación que se conoce como “ciclogénesis explosiva” o también “bomba meteorológica”,

Existe abundante bibliografía con estudios sobre ciclogénesis explosiva, comparándola con la no explosiva, que tiene lugar habitualmente en el Hemisferio norte y en otros lugares (Zona oeste-central del Pacífico). En el Hemisferio Sur también tienen lugar ciclogénesis explosivas durante el invierno, aunque su estacionalidad es menor que la del Hemisferio Norte.

Estas ciclogénesis explosivas “..... tienen lugar de forma más frecuente sobre el océano en los meses de invierno, en la zona corriente abajo de una vaguada móvil y difluente de una vaguada en niveles altos, dentro del máximo de corriente de dirección Oeste o en el lado polar de ella y siempre cerca del máximo gradiente de temperatura entre la superficie y el mar como, por ejemplo, en el lado norte de la Corriente del Golfo....”. (Bluestein “Synoptic- Dynamic Meteorology in Midlatitudes” Volume II).

La ciclogénesis explosiva, como la que se estudia en este caso, no es habitual, pero existen algunos casos recientes que pueden mostrarse como ejemplos: Tormenta Lothar, que afectó también al Cantábrico el 27 de Diciembre de 1999. Otro ejemplo reciente, al que se atribuye la desaparición del buque Marero y sus ocho tripulantes en el Golfo de Vizcaya, tuvo lugar durante la madrugada del 20 de Diciembre de 1998.

En la mayoría de los estudios, se referencia la definición de “bomba meteorológica” o “ciclogénesis explosiva” a la publicada por los investigadores Sanders y Gyakum en 1980: “Ciclones (Borrascas), con una presión central a nivel del mar que experimenta una disminución de, al menos, 24 hPa (mb) en 24 horas y cumpliendo el siguiente criterio:

$$\Delta p \geq 24 (\text{sen } \alpha / \text{sen } 60) \text{ donde } \alpha \text{ es la latitud media del centro de la baja”}$$

- Según Sanders y Gyakum (1980), el desarrollo explosivo de un ciclón en el océano, posee características similares a las tormentas tropicales, como son la existencia de vientos huracanados cerca de su parte central, la aparición de nubes convectivas en la parte norte y al este del centro de la baja durante la fase explosiva, y la presencia de un área sin nubes, cerca del centro de la perturbación, cuando está en su fase madura.

En los últimos años, existe un término utilizado a menudo en los medios de comunicación, como es el de “Tormenta Perfecta”. Este término no tiene sentido meteorológico y, en realidad se utiliza después de la difusión de una película así titulada, en la que un barco se ve inmerso en unas condiciones meteorológicas extremas. En el caso de la situación reflejada en la película, esos efectos meteorológicos se produjeron debido a una “ciclogénesis explosiva” o “bomba meteorológica”, que sí son términos con significado meteorológico. Ambas dos expresiones son traducciones del término en inglés que, en castellano, suenan muy alarmantes.

3. Resumen de la situación meteorológica

Desde el punto de vista de la dinámica meteorológica, esta situación se originó con la combinación entre

- un área de bajas presiones en superficie, con una fuerte baroclinidad (es decir fuerte “gradiente” o diferencia de temperatura horizontal y fuerte “viento térmico” o diferencia de viento geostrofico entre niveles) y
- una situación en niveles altos caracterizada por un chorro muy fuerte en altura, con un máximo de advección de vorticidad en su zona izquierda (la vorticidad mide la capacidad de rotación de un fluido), así como una vaguada de onda corta en 500 hPa.

La aproximación de una masa de aire con estas características hacia la baja fuertemente baroclina, que ya existía en superficie y sobre el Atlántico, fue la que dio lugar al desarrollo explosivo. La borrasca se desplazó desde el Atlántico hacia el Mediterráneo, afectando al Sur de Francia y al Norte de Italia durante el resto del día 24 y el día 25.

Los máximos de viento se produjeron en la zona WSW del centro de la baja, debido al rápido incremento de la presión en la parte trasera de la seclusión (que es la unión de los frentes cálido y frío, a cierta distancia del centro de la depresión, de modo que queda encerrada una cierta masa de aire cálido, aislada y completamente rodeada de aire más frío).

En las imágenes del Meteosat Segunda Generación, canal Infrarrojo, que se muestran en la Figura 2, se resume el paso de la borrasca. Las dos primeras imágenes muestran el avance y profundización del núcleo de bajas presiones (señalado con flecha roja). En las siguientes imágenes del día 24 se puede observar el paso de la borrasca por el Cantábrico en su desplazamiento hacia el Este de Europa: Francia e Italia.

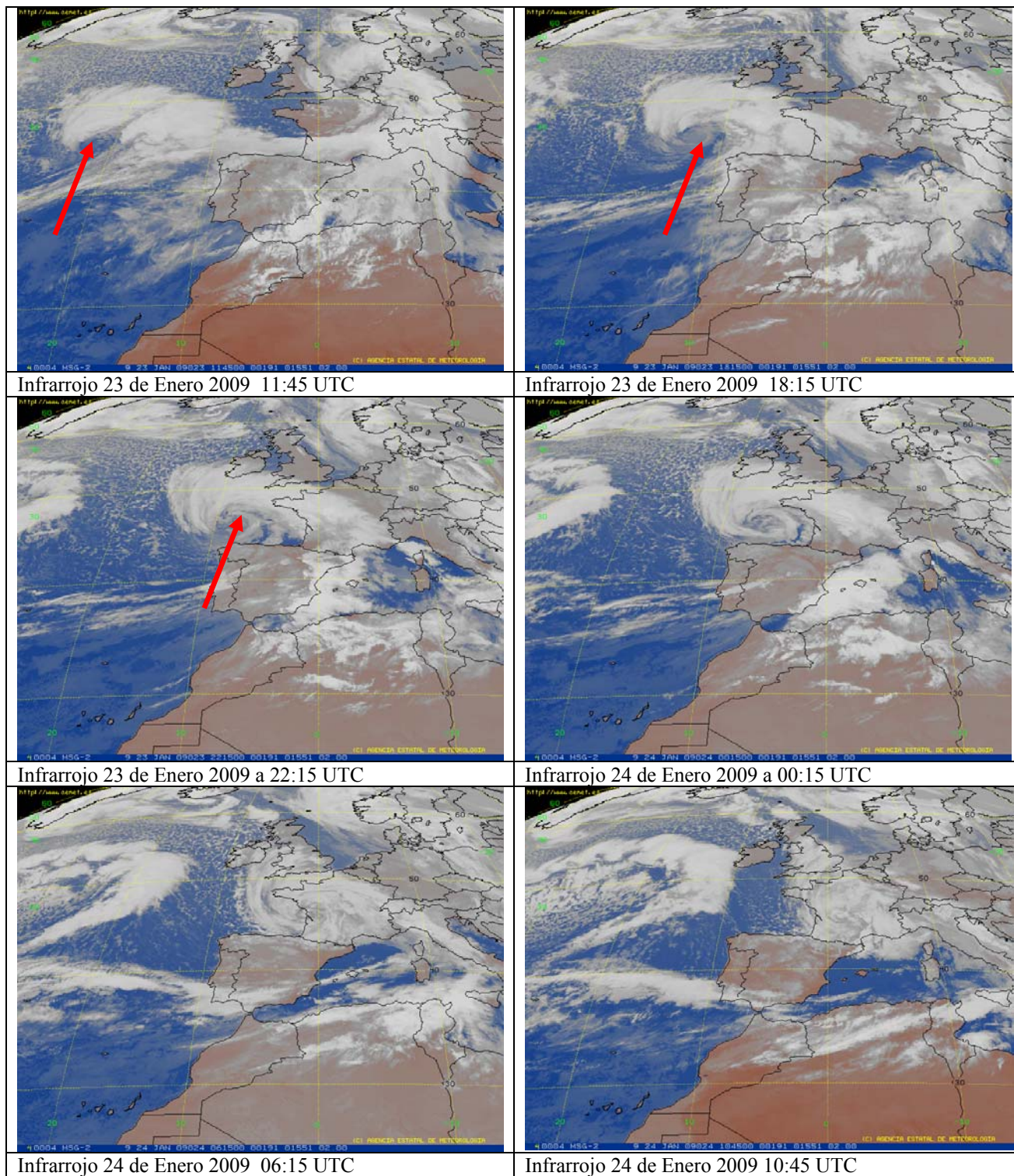


Figura 2. Secuencia de imágenes del Meteosat Segunda Generación, canal Infrarrojo. Los vientos más fuertes registrados en Asturias, Cantabria y País Vasco fueron entre las 23:40 UTC del día 23 y las 06:40 UTC del día 24.

En la Figura 3 se muestran los Análisis de superficie y temperatura en 850 hPa (izquierda) y geopotencial y T en 500 hPa (derecha), del **modelo HIRLAM**. En estos mapas se puede observar el desplazamiento de la borrasca, con un gradiente de presión muy fuerte en superficie. El viento en este nivel, gira desde el WSW al NW en la parte trasera de la borrasca.

La Figura 4 muestra los perfiles verticales en los que se aprecia el desplome de una zona de alta vorticidad potencial sobre la baja preexistente en superficie.

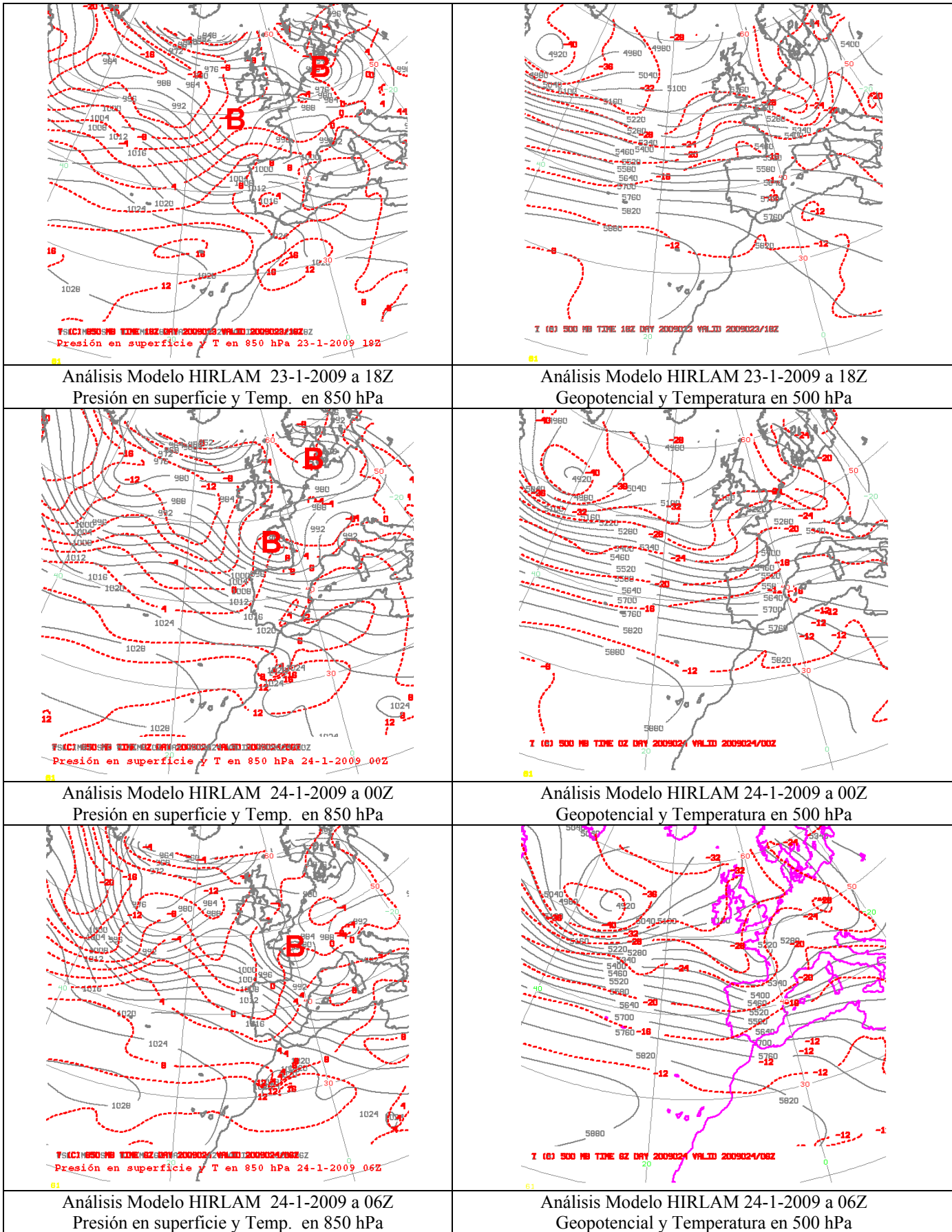
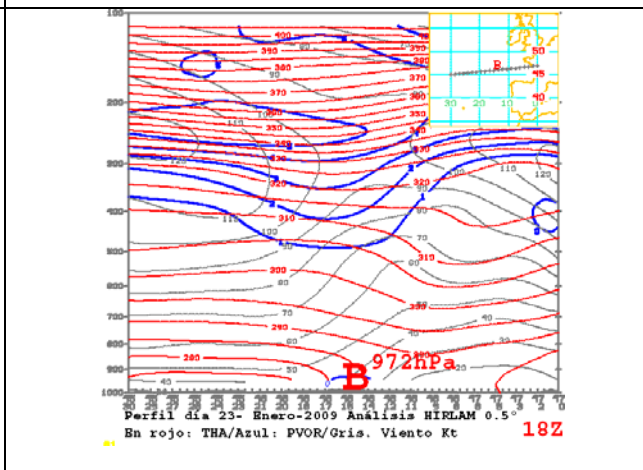
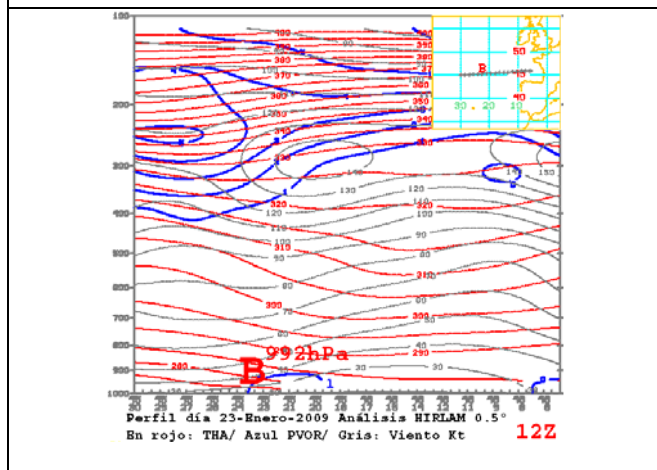
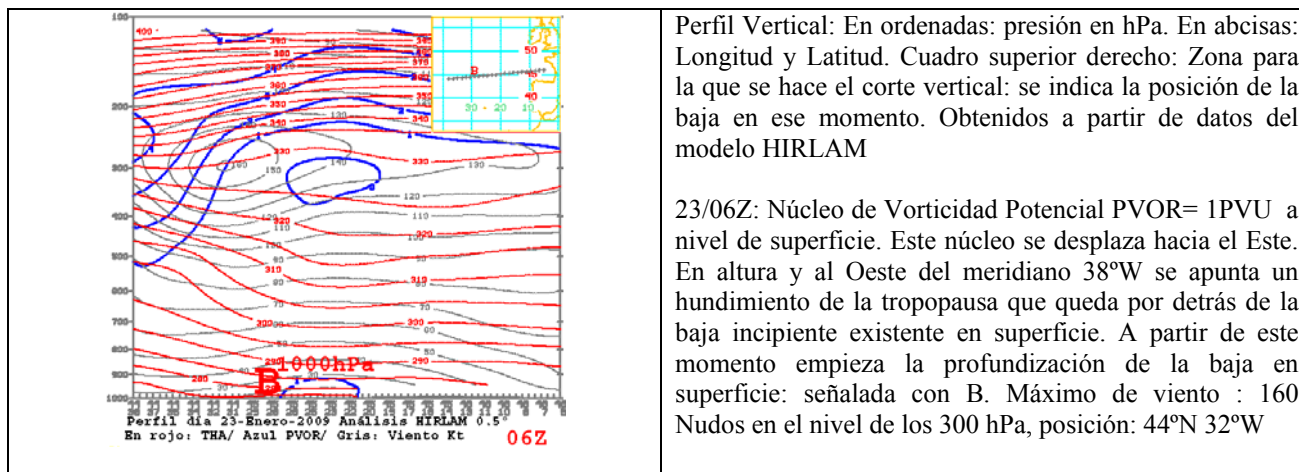
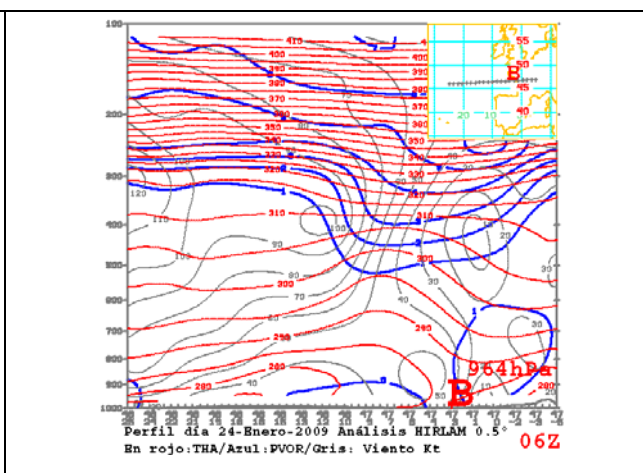
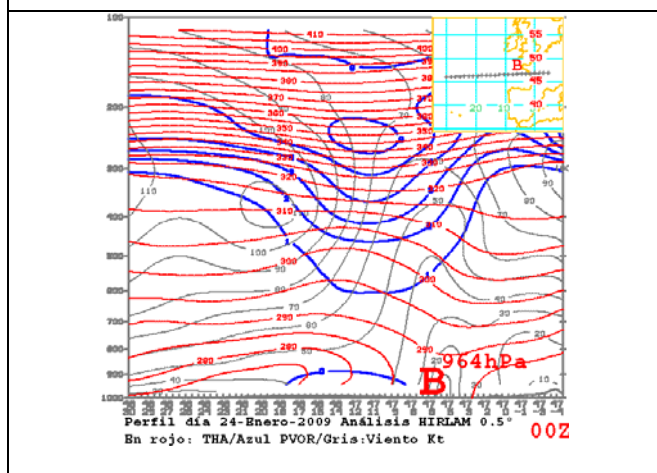


Figura 3. Análisis del modelo HIRLAM (Resolución 0.5°)



Desde el DIA 23/12Z a 23/18Z: Núcleo de Vorticidad Potencial=1PVU (Unidades de Vorticidad Potencial: $1\text{UVP}=10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K kg}^{-1}$), persistiendo en superficie, en su desplazamiento hacia el Este. Entre las 12Z y las 18Z del mismo día se produjo la mayor caída de presión en este nivel. En este intervalo de tiempo existe una advección cálida en altura, por detrás de la advección cálida en niveles bajos. Cuando esta fuerte advección cálida en niveles altos se acerca a la posición de la baja preexistente en superficie, se produce fuertes caídas de presión en este nivel (Teoría de Hirschberg y Fritsch).



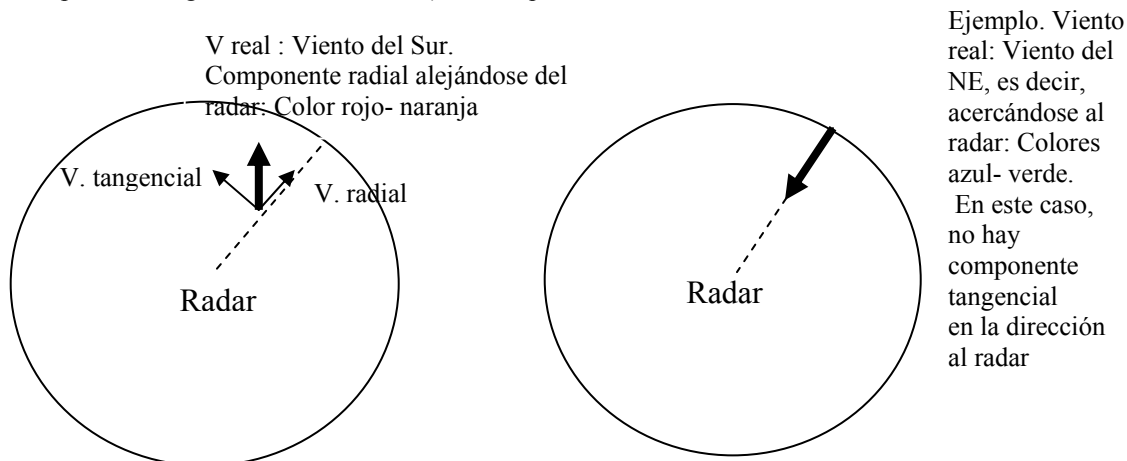
Día 24/00Z: En el perfil vertical se aprecia un aumento de la cizalladura horizontal del viento en la zona de mayor vorticidad potencial, que se mantiene en el perfil vertical de las 24/06Z: Máximo de cizalladura horizontal de viento en niveles medios– altos, cerca del centro de vorticidad potencial. En superficie, aparece un máximo de velocidad de viento de 50 Kt (90 Km/h). Entre las 00Z y las 06Z del día 24, existe un embolsamiento cálido en superficie, en la parte delantera de la baja, que coincide con un curvamiento hacia abajo en el campo de THA: es decir un calentamiento. Según estudios previos (Gyakum 1991), esta es una característica que se repite a menudo en procesos de ciclogénesis explosiva que tienen lugar sobre el mar.

Figura 4. Perfil vertical de : Vorticidad Potencial (PVOR) color azul: de 1 en 1 Unidades de Vorticidad Potencial / THA: Temperatura potencial en rojo/ Velocidad del viento en gris y en nudos. En la secuencia se observa la evolución de la situación desde las 06Z del día 23 hasta las 06Z del día 24: Campos obtenidos del Análisis del Modelo HIRLAM

4. Imágenes de radar

Se adjuntan algunas imágenes de los radares de Asturias y del País Vasco, situados a un altura de 938 y 632 metros sobre el nivel del mar, respectivamente. Estos dos radares cubren casi toda la costa Cantábrica y, en este caso, permiten apreciar el paso de la borrasca. **El emplazamiento físico de la antena del radar está en el centro de la imagen.**

Imágenes de viento : Representan la componente radial del viento en la dirección del radar, en colores graduados por escala de velocidad de viento (en m/seg). Esta componente puede asimilarse al real en el caso de que sople en la dirección de la radial (porque, en este caso, la componente tangencial al radar es nula) Ver esquema:



Puntualizaciones con respecto a las imágenes de viento que se adjuntan a continuación. En el caso de la situación de este día, llama la atención la zona de color fucsia al Oeste del radar, en la zona de vientos del Oeste, es decir: dirigidos hacia el radar. El color fucsia indicaría vientos alejándose del radar, lo cual es contradictorio con el viento real (que era del WNW, es decir hacia el radar: colores azul- verde). En este caso, este efecto es debido a que el viento era tan fuerte que al sobrepasar el valor máximo de velocidad en m/seg de la escala (es decir dentro del color azul, de acercamiento hacia el radar, como correspondía al viento del WNW existente), el sistema vuelve a contar como si fueran velocidades de alejamiento (color fucsia, alejamiento del radar), por decirlo de alguna manera: “da la vuelta a la escala de colores”. Este hecho se conoce como “velocity folding” y puede provocar confusión sobre la dirección del campo de viento.

Lo mismo puede decirse respecto a las zonas que aparecen dentro del esquema general de velocidad *con dirección alejándose del radar (Al Este de su emplazamiento, situado en el centro de la imagen)*. En este caso ahí también ocurrió lo mismo y, al sobrepasar el umbral máximo de la velocidad para el color fucsia (colores rojo, naranja, fucsia: sentido de alejamiento del radar), el sistema “da la vuelta” a la escala y aparece como de color azul, sentido de acercamiento hacia el radar (cuando, en la realidad el viento era del WSW, es decir sentido de alejamiento del radar). **Esto puede dar una idea de la fuerza que alcanzó el viento y, además, permite seguir el avance de la zona de vientos máximos**

Imagen WIND (Columna derecha en las Figuras 5 y 6) : se trata de vientos medios calculados en un sector de determinadas dimensiones. Este producto no detecta efectos orográficos.

Hay que tener en cuenta en las imágenes, que se trata de datos a una determinada altura, dado que el haz del radar se eleva con la altura. (por ejemplo, en la vertical de Santander el dato del radar del País Vasco, correspondería a viento medio a 1700 metros de altura sobre el nivel del mar, en Cabo Ajo sería a unos 1400 metros, y más fiable porque está más cerca del emplazamiento del radar). Para hacer la corrección a superficie lo mejor es utilizar datos del sondeo real (o previsto) y perfiles verticales.

Figura 5: Radar de Asturias

Figura 6: Radar del País Vasco

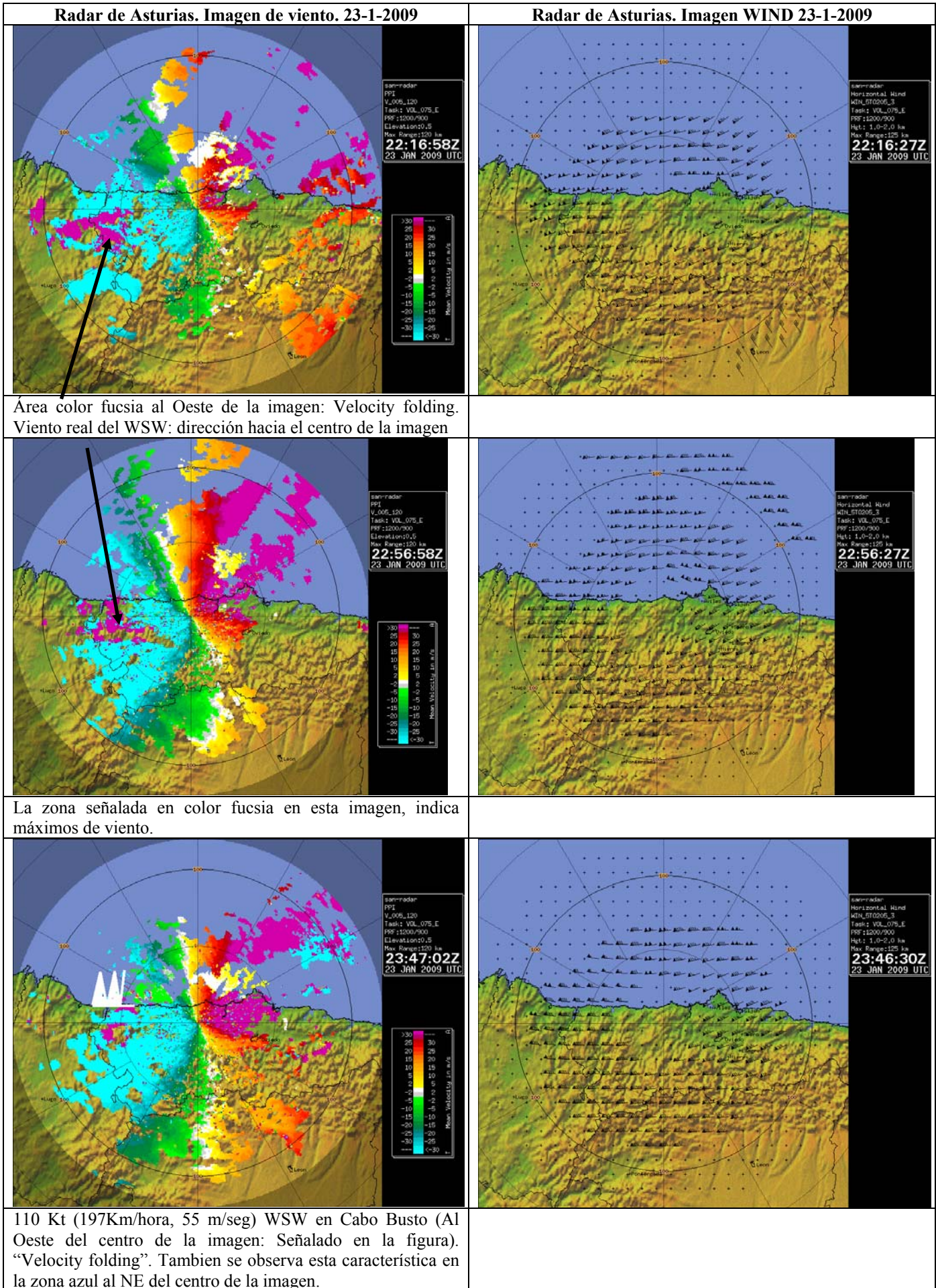
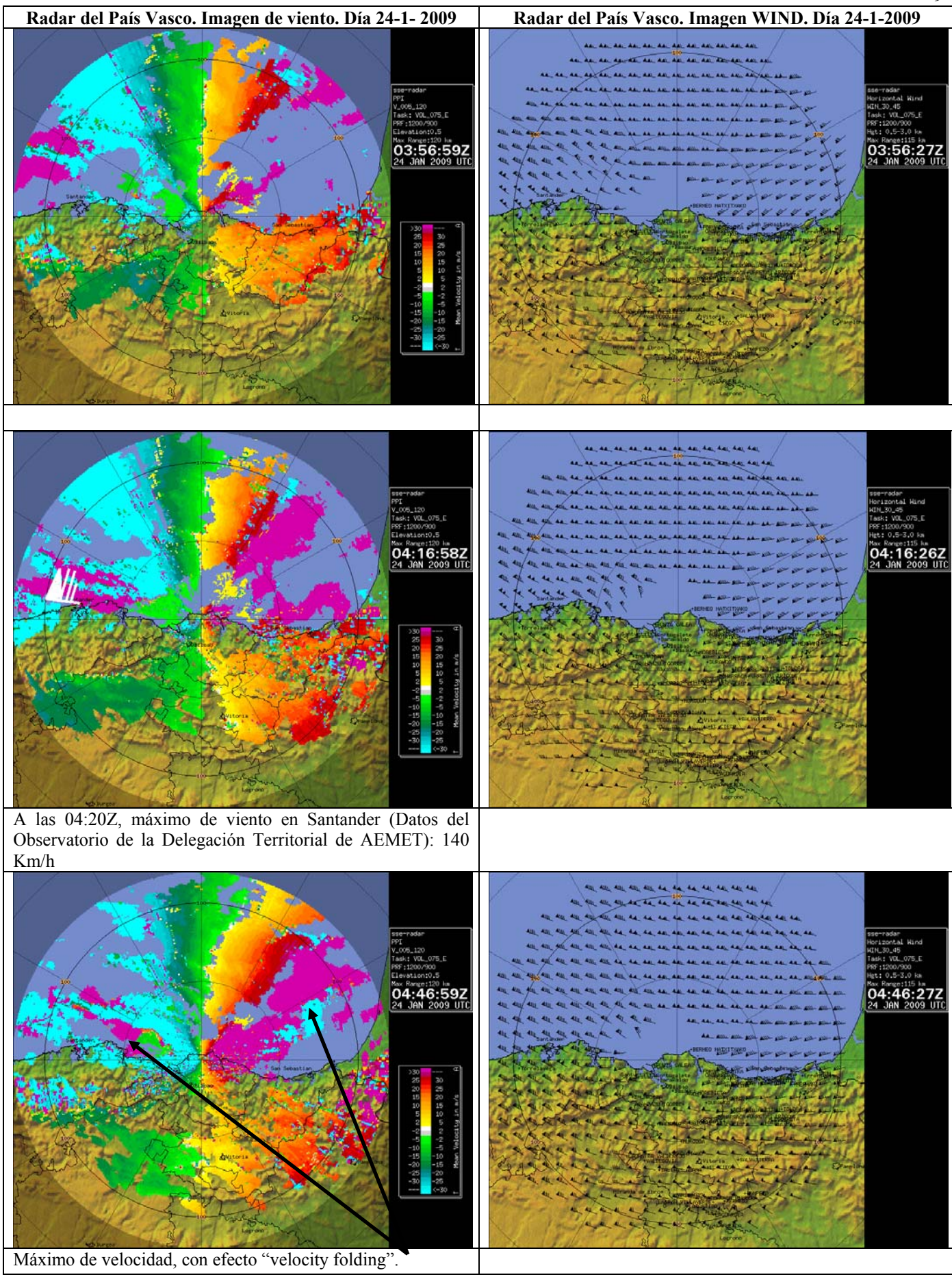


Figura 5



A las 04:20Z, máximo de viento en Santander (Datos del Observatorio de la Delegación Territorial de AEMET): 140 Km/h

Máximo de velocidad, con efecto "velocity folding".

Figura 6

5. Conclusiones

La situación de los días 23 y 24 de Enero de 2010 puede incluirse en las denominadas como “ciclogénesis explosivas” o también “bombas meteorológicas”.

Durante la semana previa al día 24, la situación meteorológica en el Atlántico era de bajas presiones, dentro de las cuales se produjeron profundizaciones, con notables descensos de presión. Una de ellas, la que se resume aquí, cumplía las características que definen la ciclogénesis explosiva y llegó al continente europeo, con una trayectoria de latitud más baja de lo habitual.

El estudio de la situación con los campos derivados (vorticidad potencial en este documento) de la salida del modelo HIRLAM 0.5° permite apreciar la evolución en los diferentes niveles, así como el previsible desplazamiento y profundización de la baja. Resulta de especial interés el seguimiento del posible hundimiento de la tropopausa, a través del campo de Vorticidad Potencial, así como las advecciones térmicas entre niveles.

Con respecto a la localización de zonas más favorables a la ciclogénesis explosivas y, aunque el forzamiento en niveles altos puede existir tanto sobre tierra como sobre el océano, es bastante claro que, el efecto de la abundante humedad que proporcionan los procesos que tienen lugar en la capa límite marina y que originan una disminución de la estabilidad, es lo que hace que la ciclogénesis explosiva sea, casi exclusivamente, un fenómeno marítimo.

Los modelos de predicción utilizados en la predicción operativa, mostraban, con bastante antelación, la formación de una baja de desarrollo mucho más profundo que el habitual y que tenía una trayectoria desde el Atlántico hacia el Golfo de Vizcaya.

La predicción y vigilancia operativa de esta situación, requiere un continuo seguimiento, tanto de las previsiones de los modelos meteorológicos, como de los medios de observación disponibles (satélites, radar, observaciones, etc.). La conjunción entre ambos debería permitir predecir, con antelación, el desplazamiento de la borrasca así como su trayectoria, su posible profundización, etc. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que no es fácil predecir cuando y dónde se va a producir una profundización explosiva de una baja, aunque sí que existen zonas más favorables para ello.

AGRADECIMIENTOS:

- A Ramón Vazquez. Técnico Superior Meteorología, por sus aportaciones al documento. Centro de Formación AEMET. Madrid
- A José Miguel Gutiérrez Núñez, Técnico Superior de Teledetección, por sus aclaraciones sobre las imágenes de radar. Unidad de Teledetección Terrestre AEMET. Madrid
- A Francisco Martín León, Jefe del Área de Técnicas y Aplicaciones de Predicción, por sus aclaraciones sobre la situación y aporte de bibliografía. AEMET. Madrid.
- A la Sección de Climatología de la Delegación Territorial de AEMET. en Cantabria.

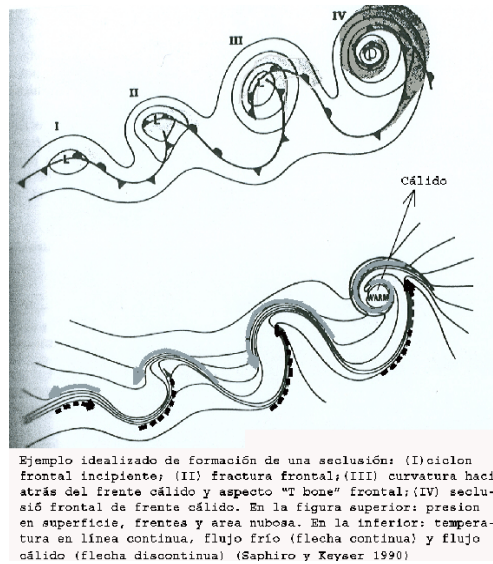
DEFINICIONES:

- **Atmósfera baroclina (Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial).** Modelo de atmósfera en el que las superficies isostéricas (de volumen específico constantes) o isopínicas (de densidad constante) se cruzan con las isobáricas.

- **Ciclón extratropical (Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial):** Sistema de bajas presiones que se desarrolla en latitudes fuera de los trópicos.

- **Modelo HIRLAM: High Resolution Limited Area Model :** Es uno de los modelos meteorológicos que se utiliza en la predicción operativa diaria en La AEMET. Es un Modelo de Área Limitada de Alta Resolución, en el que participan: Finlandia, Suecia, Noruega, Dinamarca, Holanda, Irlanda, Islandia y España (más Francia como colaborador). En la actualidad (Julio 2010), algunos de sus productos están disponible a usuario externo en su versión 7.2 con 16 Km. de resolución horizontal y 40 niveles en la vertical. Utiliza condiciones de contorno del modelo del Centro Europeo con cuatro pasadas diarias a las 00Z, 06Z, 12Z y 18Z. Alcance máximos de las predicciones: 72 horas .

- **Seclusión (Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial)** Etapa breve y poco frecuente en la evolución de una depresión, que tiene lugar antes de la oclusión. Consiste en la unión del frente caliente y del frente frío, a cierta distancia del centro de la depresión, dejando una masa de aire caliente aislada y rodeada totalmente por aire más frío.



Pueden producir caídas significativas de presión, vientos huracanados y convección intensa

- Teoría de Hirschberg y Fritsch

TEORIA DE HIRSCHBERG Y FRITSCH

Ecuación básica de tendencia de geopotencial:

$$\frac{\partial Z_i}{\partial t} = \left(\frac{R}{g} \right) \int_{p_i}^{p_s} [A \, dV(T_v) + \omega S_a] d(\ln p)$$

i= nivel inferior
s= nivel superior

Definición de estabilidad estática ajustada:

$$S_a = \begin{cases} S_d & \text{si } q < q_{sat} \text{ o } \omega > 0 \\ S_m & \text{si } q \geq q_{sat} \text{ y } \omega < 0 \end{cases}$$

Básicamente, la teoría trata de describir los mecanismos físicos que pueden contribuir al desarrollo baroclino, haciendo especial hincapié en la **significación de procesos asociados con hundimientos de tropopausa y anomalías de vorticidad potencial.**

q es la proporción de mezcla: gramos de vapor de agua por kg de aire seco. q_{sat} es la proporción de mezcla saturante

Donde p_b es el nivel depresión inferior y p_i el superior

- Z_t es la tendencia de la altura de geopotencial instantánea y local, a una presión p_b

-ω es dp/dt: mide el movimiento vertical, de manera que si ω>0, existen ascensos y, si ω<0, hay descensos.

- el término S_a es el "Parámetro de estabilidad estática ajustada que puede ser:

- S_d: parámetro de estabilidad estática seca, en el caso de que la proporción de mezcla q sea menor que la proporción de mezcla saturante q_s y haya movimiento descendente, es decir ω>0

- S_m: parámetro de estabilidad estática húmeda, en el caso de que la proporción de mezcla q sea mayor o igual que la proporción de mezcla saturante y haya movimiento

- **Temperatura potencial (Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial):** Es la temperatura que alcanzaría una partícula de aire si se la llevara, por un proceso adiabático seco, hasta una presión de 1000 hPa.

- **Tropopausa (Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial).** Límite entre la *troposfera* y la *estratosfera*, en el que el gradiente vertical de temperatura experimenta un cambio brusco. Se define como el nivel más bajo en donde el gradiente medio es de $2^{\circ}\text{C km}^{-1}$ o menos, siempre que el gradiente medio entre ese nivel y todos los niveles superiores, situados a menos de 2 Km, no exceda de $2^{\circ}\text{C km}^{-1}$. Puede hallarse ocasionalmente una segunda tropopausa si el gradiente vertical por encima de la primera es de más de $3^{\circ}\text{C km}^{-1}$. Hundimiento de la tropopausa : consiste en el desplome del aire seco y cálido existente en la estratosfera, hacia niveles más bajos.

- **Viento geostrófico (Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial)**. Viento teórico que resulta del equilibrio entre la fuerza horizontal de presión y la componente horizontal de la fuerza desviadora debida a la rotación de la Tierra, en la hipótesis de que son las únicas fuerzas que actúan sobre el aire. Sopla paralelamente a las isobaras o isohipsas rectas.

- **Vorticidad (Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial):**

- 1) Circulación giratoria del aire alrededor de un eje arbitrariamente orientado
- 2) Vector definido por la fórmula $q = \nabla \times V = \text{rot } V = \text{curl } V$. Donde q es el vector vorticidad y V es el vector viento
- 3) Componente vertical del vector vorticidad definido en 2). El término se usa más frecuentemente en este último sentido

AGRADECIMIENTOS:

- A Ramón Vázquez. Técnico Superior Meteorología, por sus aportaciones al documento. Centro de Formación AEMET. Madrid
- A José Miguel Gutiérrez Núñez , Técnico Superior de Teledetección, por sus aclaraciones sobre las imágenes de radar. Unidad de Teledetección Terrestre AEMET. Madrid
- A Francisco Martín León, Jefe del Área de Técnicas y Aplicaciones de Predicción, por sus aclaraciones sobre la situación y aporte de bibliografía. AEMET. Madrid.
- A la Sección de Climatología de la Delegación Territorial de AEMET. en Cantabria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bader, M.J.; Forbes G.S.; Grant J.R.; Lilley R.B.E.; Waters A.J. 1995 “*Images in weather forecasting*”. Cambridge University Press
2. Bluestein H. “*Synoptic- Dynamic Meteorology in Midlatitudes*” . Editorial: Oxford 1993
3. Brasseur O. ; 2001 “Development and Application of a Physical Approach to Estimating Wind Gusts” . Monthly Weather Review Vol. 129
4. Chung- Chieh Wang, Rogers J. 2001. “*A Composite Study of Explosive Cyclogenesis in Different Sectors of the North Atlantic. Part I: Cyclone Structure and Evolution*”. Monthly Weather Review. Vol.129
5. Elizaga Rodríguez F., García Méndez A., Martín León F. , Carretero Rodríguez O., 1999 “Guía Técnica de Análisis y Diagnóstico” Biblioteca de Módulos TEMPO . Area de Técnicas de Análisis y Predicción. Agencia Estatal de Meteorología. Madrid.
6. Martín León F.; Elizaga Rodríguez F.; Núñez Corchero M.; Del Pino Corredera J. ; Riosalido Alonso R. Julio 1999 : “*Ciclogénesis del 5-6 de Diciembre de 1997*”. Biblioteca de Módulos Tempo. Módulo CS2 . Agencia Estatal de Meteorología
7. MacDonald B.C., Reiter E. R.1988. “*Explosive Cyclogenesis over the Eastern United States*”. Monthly Weather Review Vol. 116
8. Rogers, E., Bosart L.F. 1986 “*An Investigation of Explosively Deepening Oceanic Cyclones*”. Monthly Weather Review. Vol. 114
9. Sanders, F., Gyakum J. R. 1980. “*Synoptic- Dynamic Climatology of the “Bomb”*”. Monthly Weather Review Vol.108.

10. Sanders, F. 1986. “*Explosive Cyclogenesis in the West-Central North Atlantic Ocean, 1981,1984. Part I: Composite Structure and Mean Behaviour*” . Monthly Weather Review. Vol. 114
11. Genovés Terol A. 2009. “*Ciclogénesis explosiva 23-24 Enero de 2009. Predicción a partir del SREPS (Short Range Ensemble Prediction System*”
12. Gyakum, J. R. 1990. “*Meteorological Precursors to the Explosive Intensification of the QE II Storm*” . Monthly Weather Review . Vol. 119
13. Hirschberg A., Fritsch J.M., 1991 “ *Tropopause Undulations and the Development of Extratropical Cyclones. Part I y Part II*”. Monthly Weather Review . Vol. 119
14. Lackmann G. M., Bosart L.F., Keyser D., 1996. “*Planetary- and Synoptic- Scafe Characteristics of Explosive Wintertime Cyclogenesis over the Western North Atlantic Ocean*” . Monthly Weather Review . Volume 124 .
15. Rivière G. , Joly A. 2006. “*Role of the Low-Frequency Deformation Field on the Explosive Growth of Extratropical Cyclones at the Jet Exit. Part I: Barotropic Critical Region*” . Journal of the Atmospheric Sciences Vol.63
16. Wakimoto R. M., Warren B., Chinghwang L. 1992 “ *The Frontal Structure of an Explosive Oceanic Cyclone: Airbone Radar Observations of ERICA IOP 4*”. Monthly Weather Review . Volume 120.