



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE



# La influencia de la meteorología en el comportamiento de los incendios forestales en la provincia de Málaga y en las técnicas de extinción

*José María Sánchez-Laulhé Ollero (AEMET)*

*[jsanchezlaulheo@aemet.es](mailto:jsanchezlaulheo@aemet.es)*

*Director del Centro Meteorológico de Málaga*



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**FUEGORED**

Red Imitica nacional Directos de los  
Incendios forestales sobre los Sueltos

**Reunión Internacional Fuegored 2015**

*Málaga, 18-21 de noviembre de 2015.*

**Universidad de Málaga - Andalucía Tech**

1. Situación meteorológica más propicia para los incendios forestales en Málaga, y los cambios meteorológicos que pueden tener una importante influencia en la evolución de los incendios ya activos.
2. Fenómenos meteorológicos que puedan incidir en las operaciones de los medios aéreos para la extinción de incendios

## Orografía y terral



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología



- Importante riesgo para la formación de incendios forestales cuando sopla terral: el viento sopla de tierra hacia el mar.
- El terral cruza las montañas y se acelera en las laderas orientadas hacia el mar, pudiendo alcanzar sus rachas valores muy fuertes.



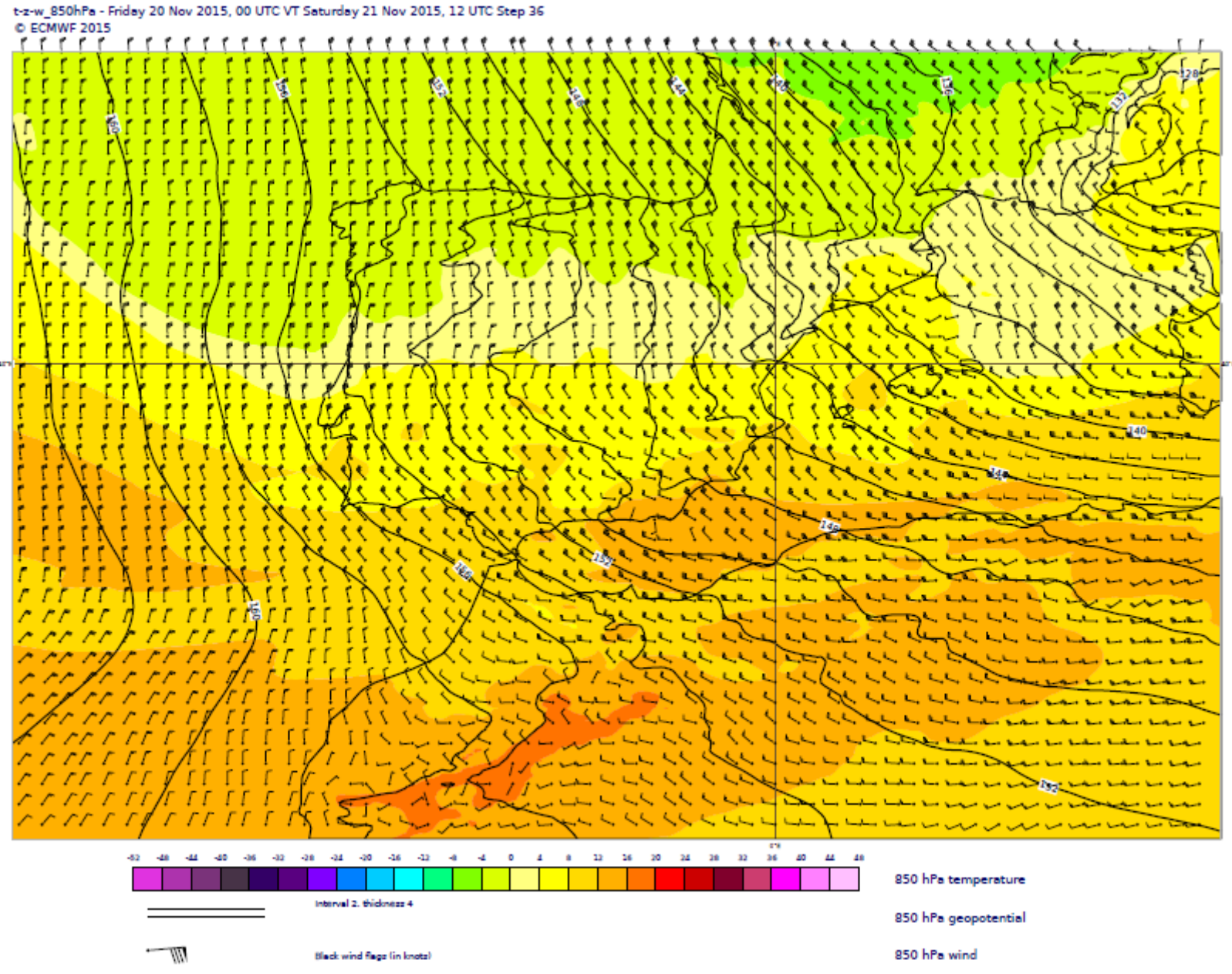
21/11/2015

Fuegored 2015, Málaga



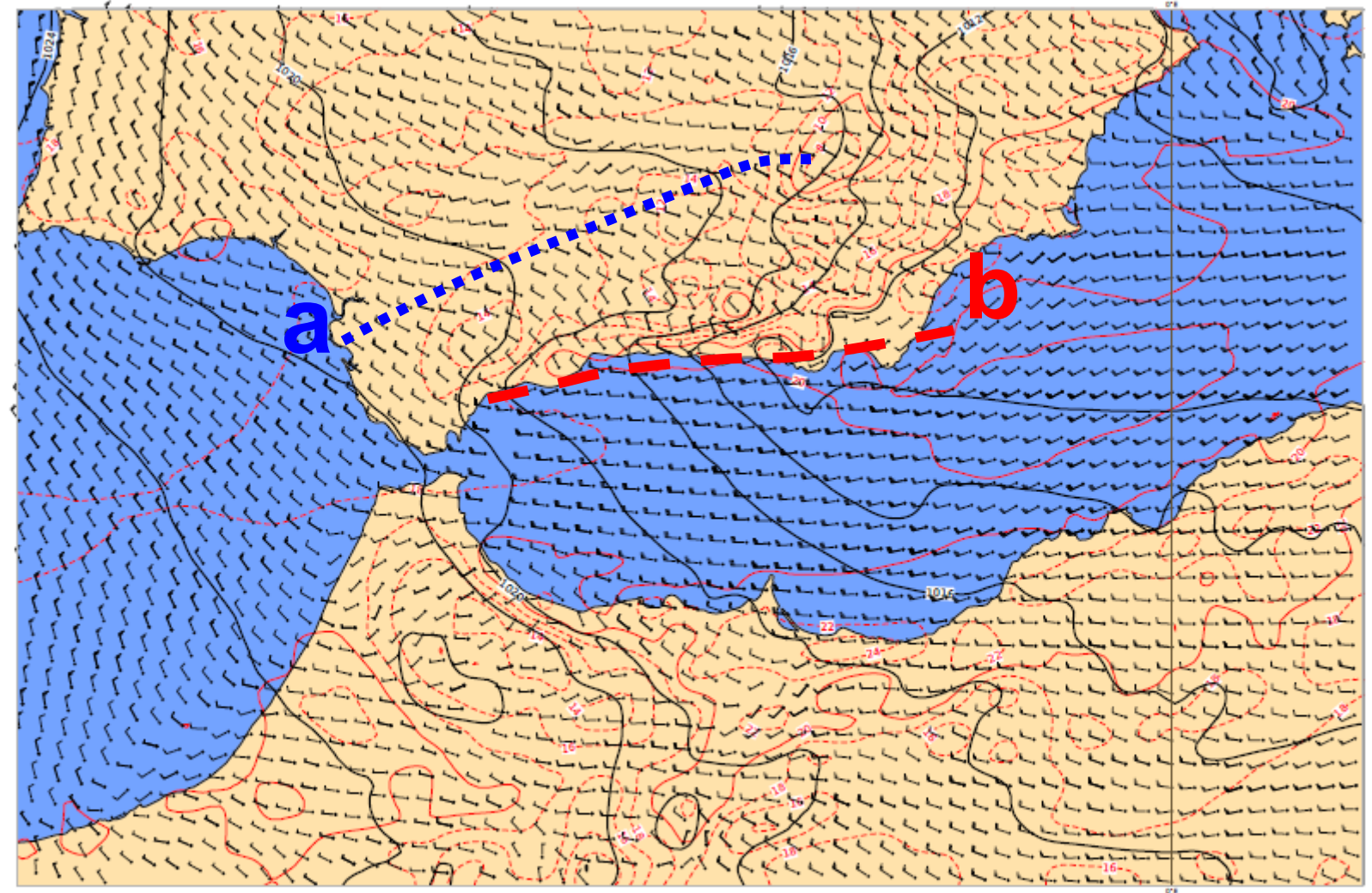
- En meses cálidos suele ocurrir el terral cuando sobre la península ibérica incide, tras un frente frío, una masa de aire relativamente fría de procedencia atlántica que hace bajar las temperaturas del interior peninsular.
- Su comportamiento al incidir sobre la orla montañosa costera depende críticamente de la altura de la orografía en relación al espesor de la masa de aire fría.
- Si la masa fría es de poco espesor, bloqueo genera una cuña de altas presiones a barlovento de las montañas que se extiende sobre el valle del Guadalquivir.
- Por otra parte cuando sopla viento desde tierra, debido al menor rozamiento del flujo de aire sobre el mar, se produce por la aceleración del viento una zona de divergencia, que se traduce en descensos del aire por encima y en crear una zona de bajas presiones en la costa por el calentamiento adiabático.
- El dipolo dorsal-vaguada crea un fuerte gradiente de presión que acelera el viento en niveles bajos hacia la costa.

# Geopotenciales y temperaturas en 850 hPa 21/11/2015





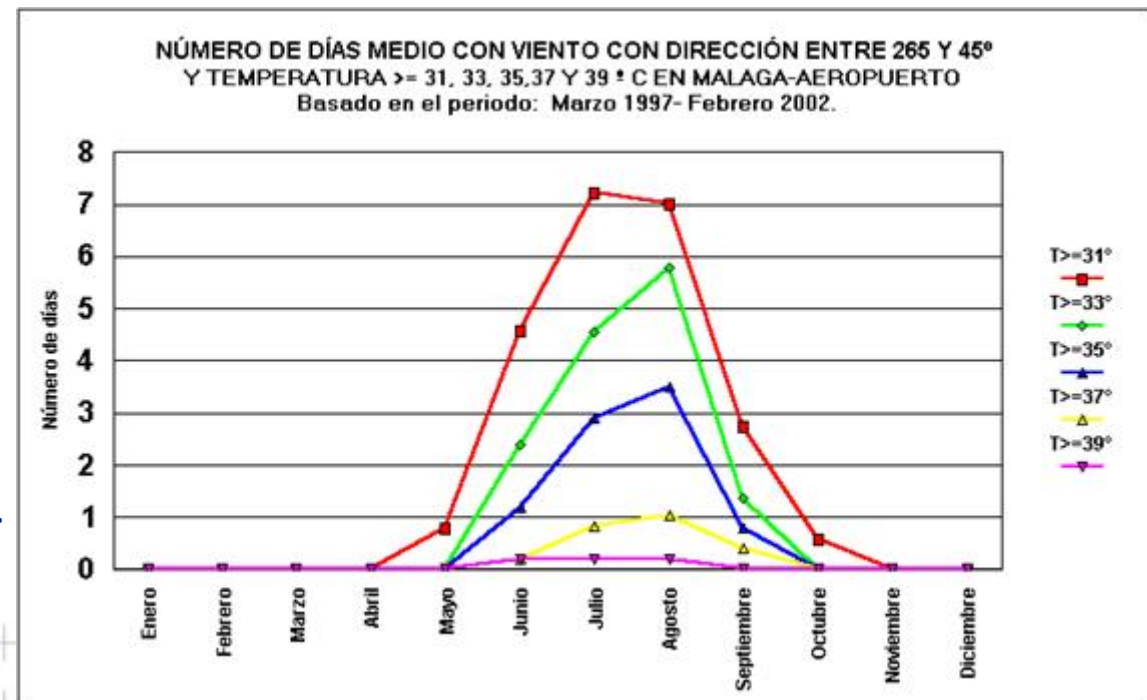
v10m-t2m-psl - Friday 20 Nov 2015, 00 UTC VT Saturday 21 Nov 2015, 12 UTC Step 36  
© ECMWF 2015



- Con terral se alcanzan las temperaturas más altas en la zona próxima al litoral. El aire se calienta por compresión adiabática en su trayectoria hacia el mar.
- La humedad relativa,  $HR$ , del aire decrece debido a que su proporción de mezcla saturante,  $M$ , crece con la temperatura de acuerdo a la ecuación de Clausius-Clapeyron. Cuando las parcelas de aire alcanzan la costa, finalizando su descenso, tienen una humedad relativa muy baja.
- El terral impide que sople en la costa la brisa marina, que habitualmente mantiene moderadas las temperaturas diurnas y la humedad relativa en esta zona.

$$HR = 100 \cdot \frac{m}{M}$$

- El ambiente que crea el terral de vientos fuertes, temperaturas altas y baja humedad es muy propicio para la generación de incendios forestales, que se propagan hacia la costa a gran velocidad.

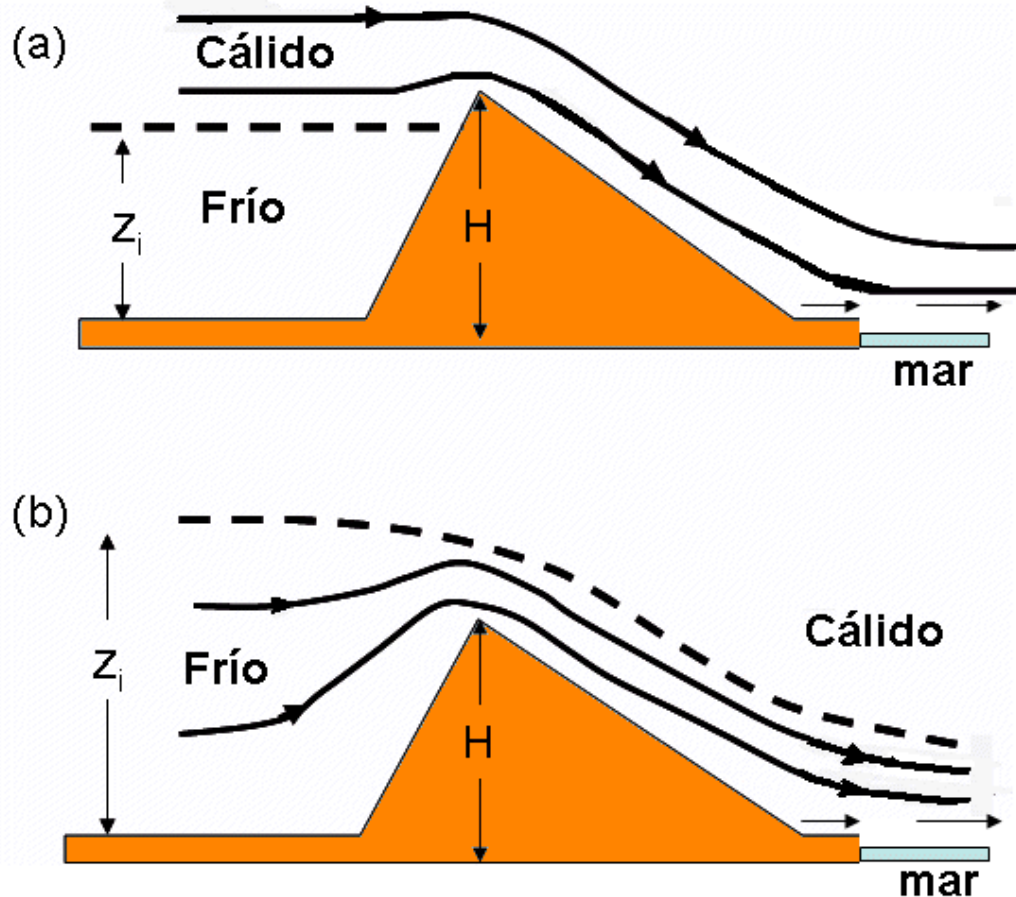


Casos extremos de terral: (a) Vientos Foehn; (b) vientos Bora,



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



- (a) *Vientos Foehn cálidos*; el aire frío bloqueado, desciende el cálido
- (b) *vientos Bora fríos*, producidos por situaciones sinópticas que fuerzan masa fría es de gran espesor y vientos fuertes fríos sobre una cordillera. Al paso del aire sobre la cordillera los vientos pueden superar un cierto umbral crítico de intensidad (el flujo se vuelve supercrítico). La disminución de la presión por efecto Venturi rompe el equilibrio hidrostático, y aplasta la capa de aire frío contra la montaña, causando que se intensifiquen los vientos fuertes y se peguen a la montaña.  
Las líneas continuas son trayectorias; la línea a trazos representa la inversión en temperatura.



terral 18 y 19 de julio de 2001; importante incendio en Mijas



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Imagen visible Meteosat de las 8 UTC del día 19



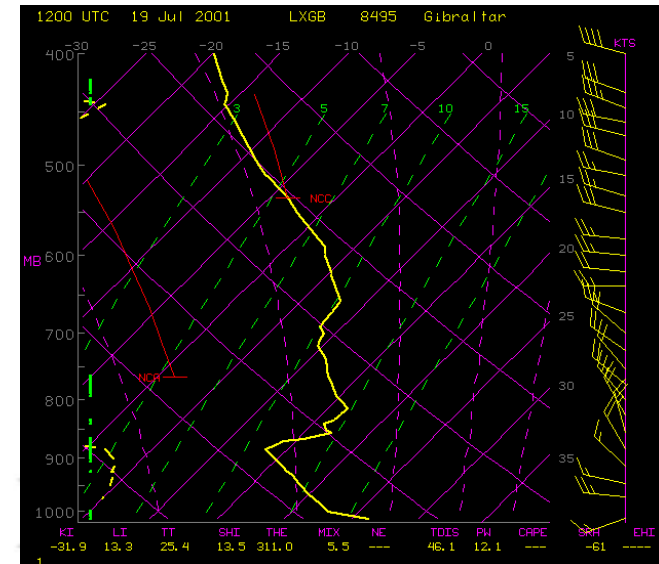
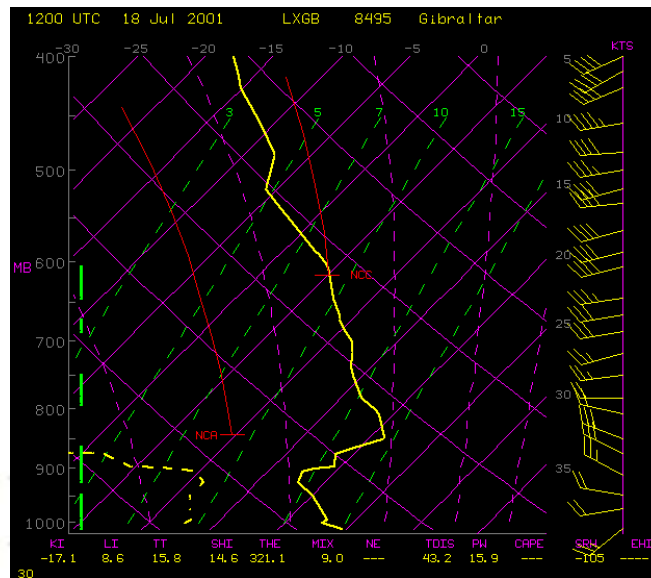
vientos observados a las 18 UTC del día 18



sondeos de Gibraltar de 12 UTC de los días 18 y 19

La base de la inversión térmica se elevó de unos 820 m a unos 1200 m de altitud.

Viento efeméride en julio en Aer. Málaga

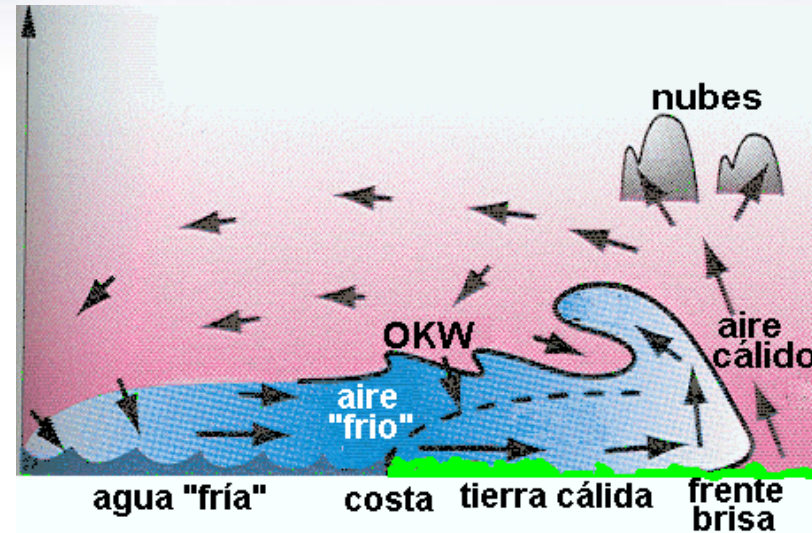
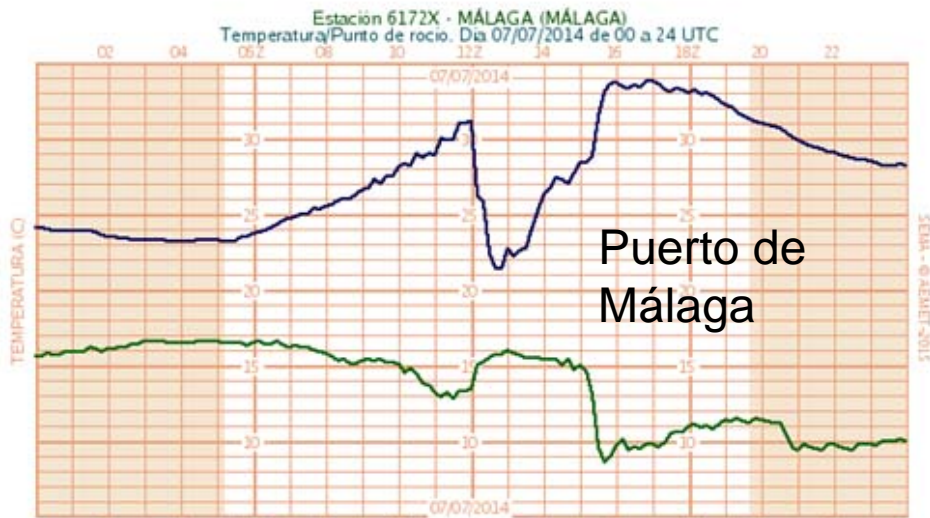


# Desaparición brusca del terral: brisa



GOBIERNO DE ESPAÑA

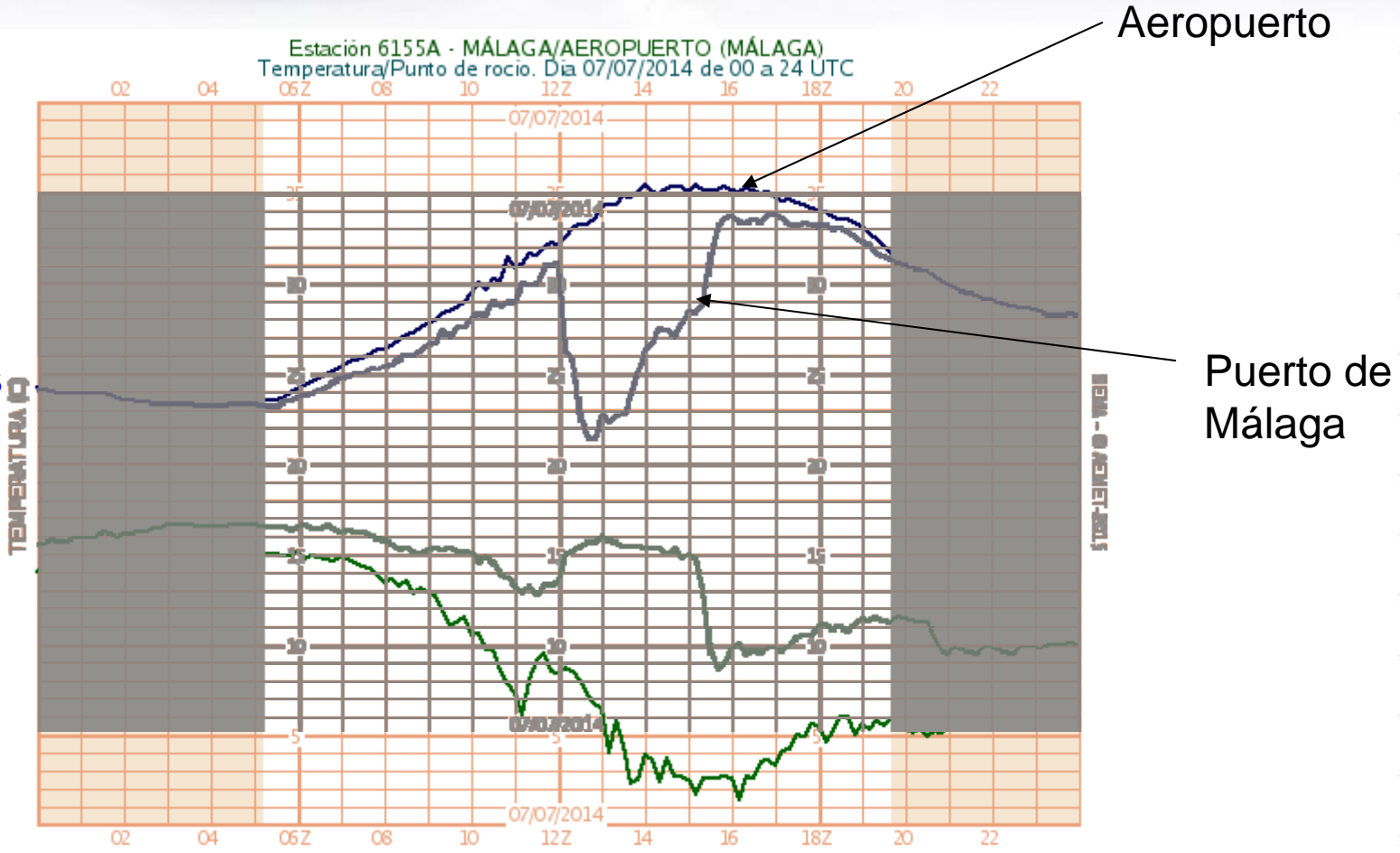
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



- *Sección transversal esquemática de una brisa de mar, contraria al viento sinóptico, que se comporta como una corriente de densidad*

# Comparación temperaturas de aeropuerto y puerto de Málaga

La bahía de Málaga lugar favorable para las interrupciones diurnas bruscas del terrenal



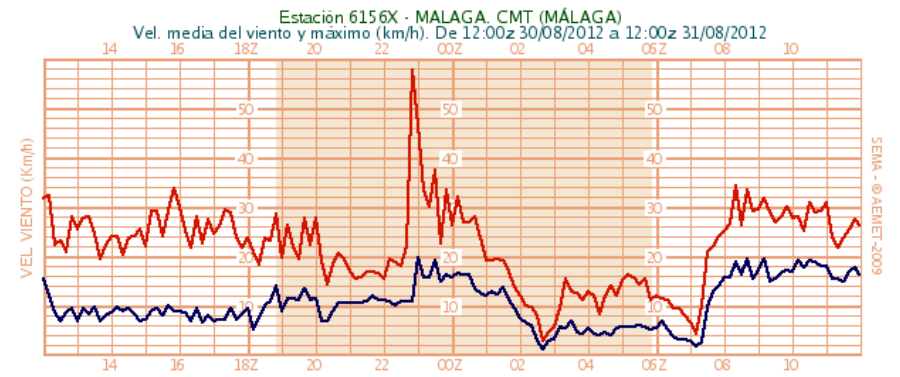
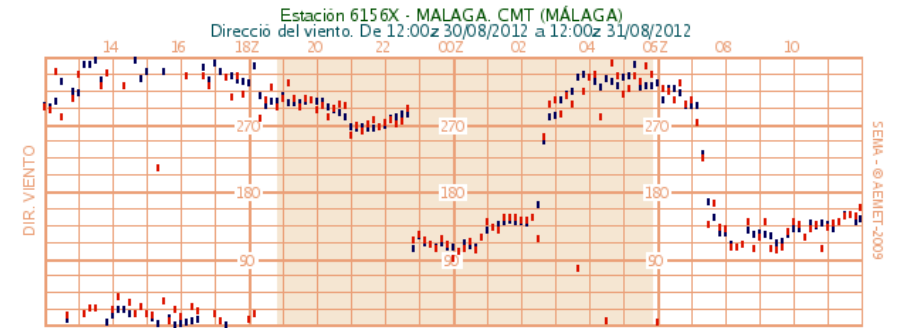
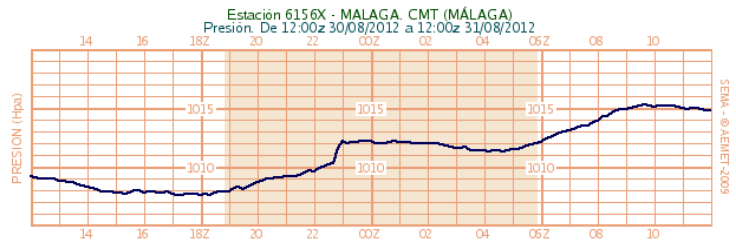
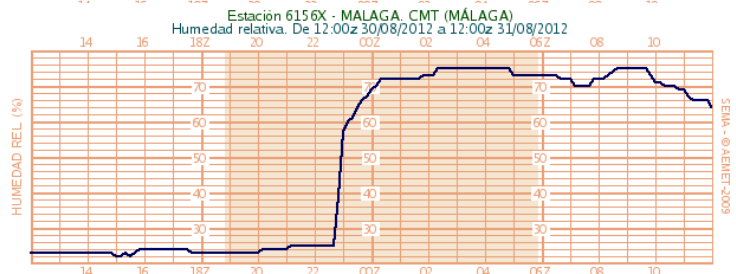
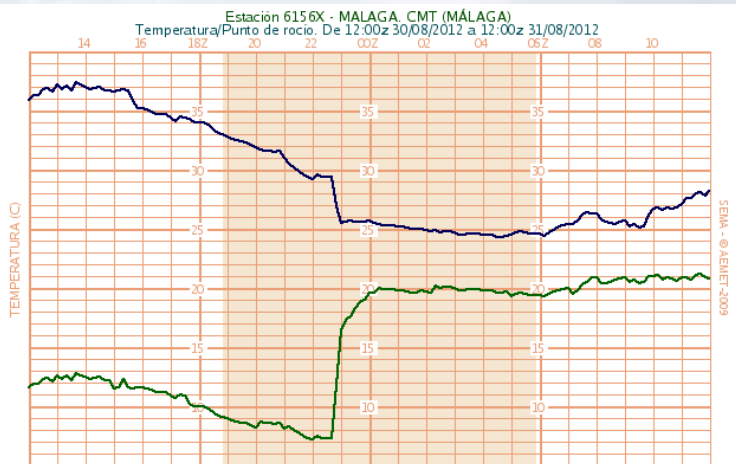


# Finalización del terral por una "entrada brusca de viento de levante"



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



- *entrada brusca de levante*: corriente de aire de levante en la costa norte del mar de Alborán, cuya parte delantera se comporta también como una corriente de densidad pero de una escala espacial mucho mayor que en el caso de la brisa, pues afecta a toda la costa norte de Alborán.

Finalización del terral por una "entrada brusca de viento de levante"

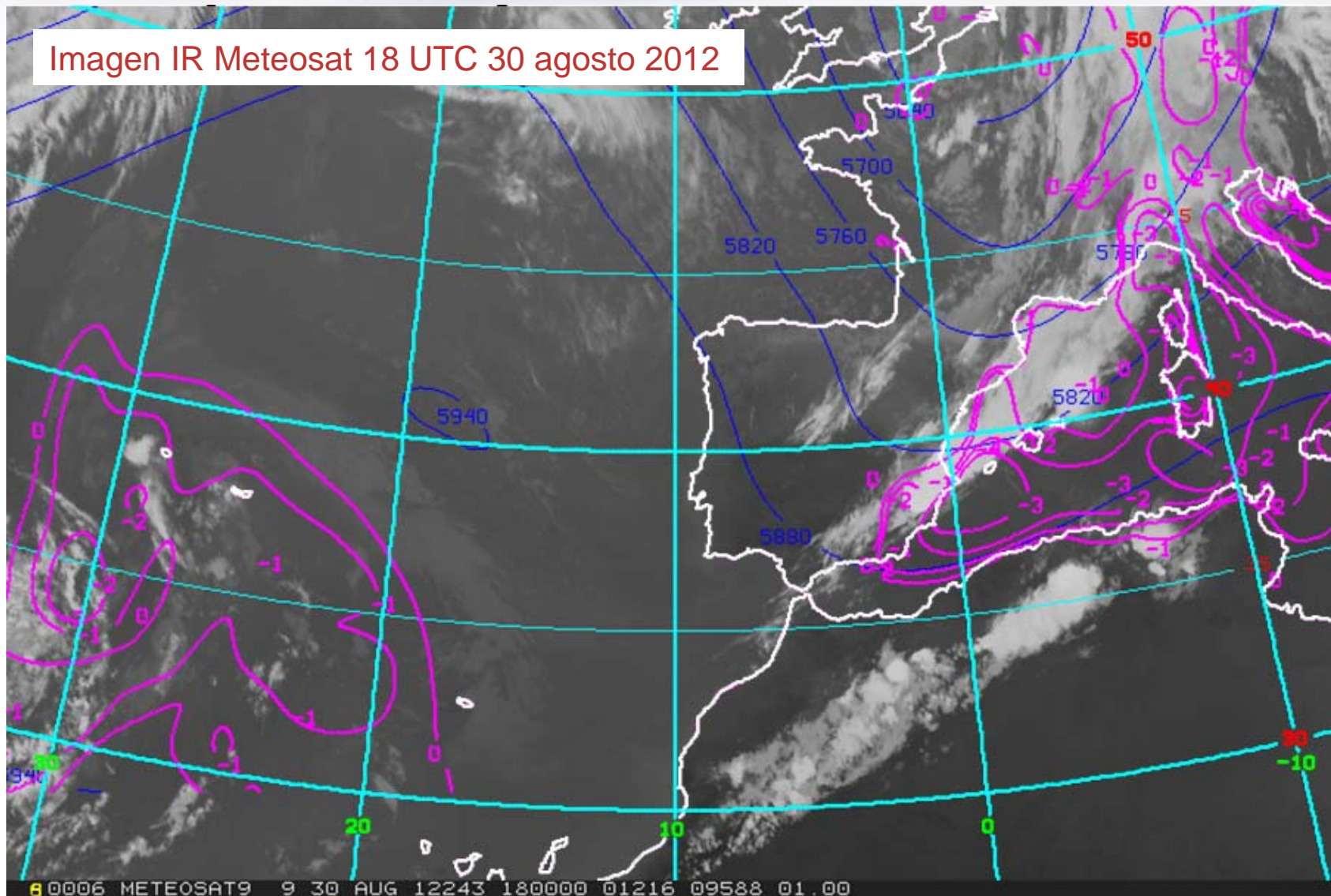


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

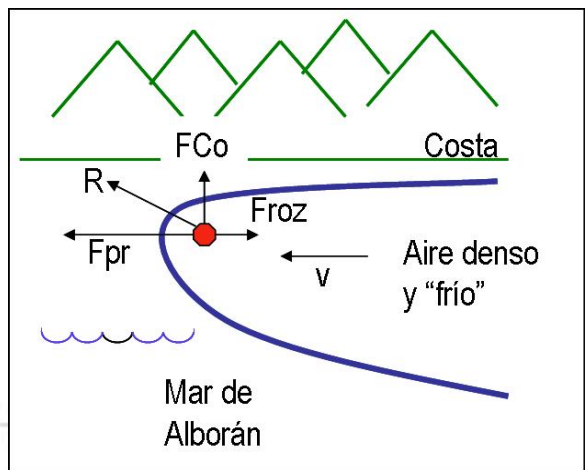
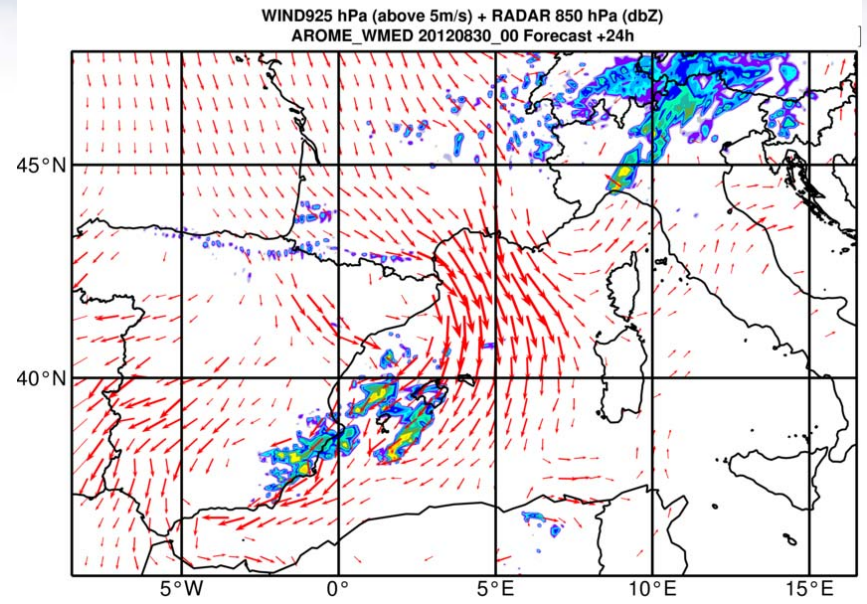
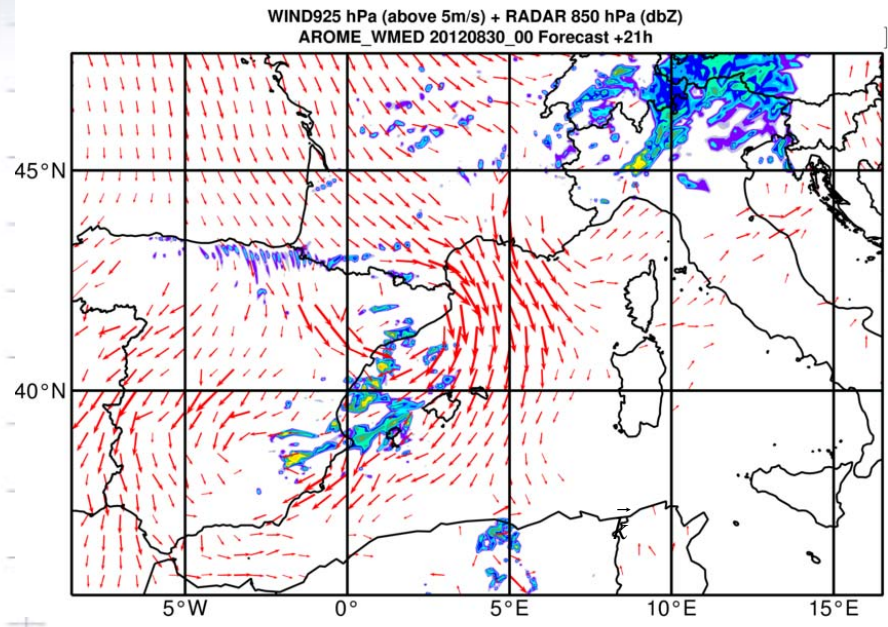


Imagen IR Meteosat 18 UTC 30 agosto 2012





# Finalización del terral por una "entrada brusca de viento de levante"



$$F_p = -\frac{1}{\rho} \cdot \nabla p$$

$$F_{Co} = f\vec{k} \times \vec{V}$$

$$f = 2\Omega \text{sen} \phi$$

$\phi$  es la latitud,  
 $\Omega$  la velocidad de rotación de la Tierra,  
 y  $k$  es el vector unitario en la vertical



Entrada brusca de levante en el incendio del 30-31 de agosto de 2012



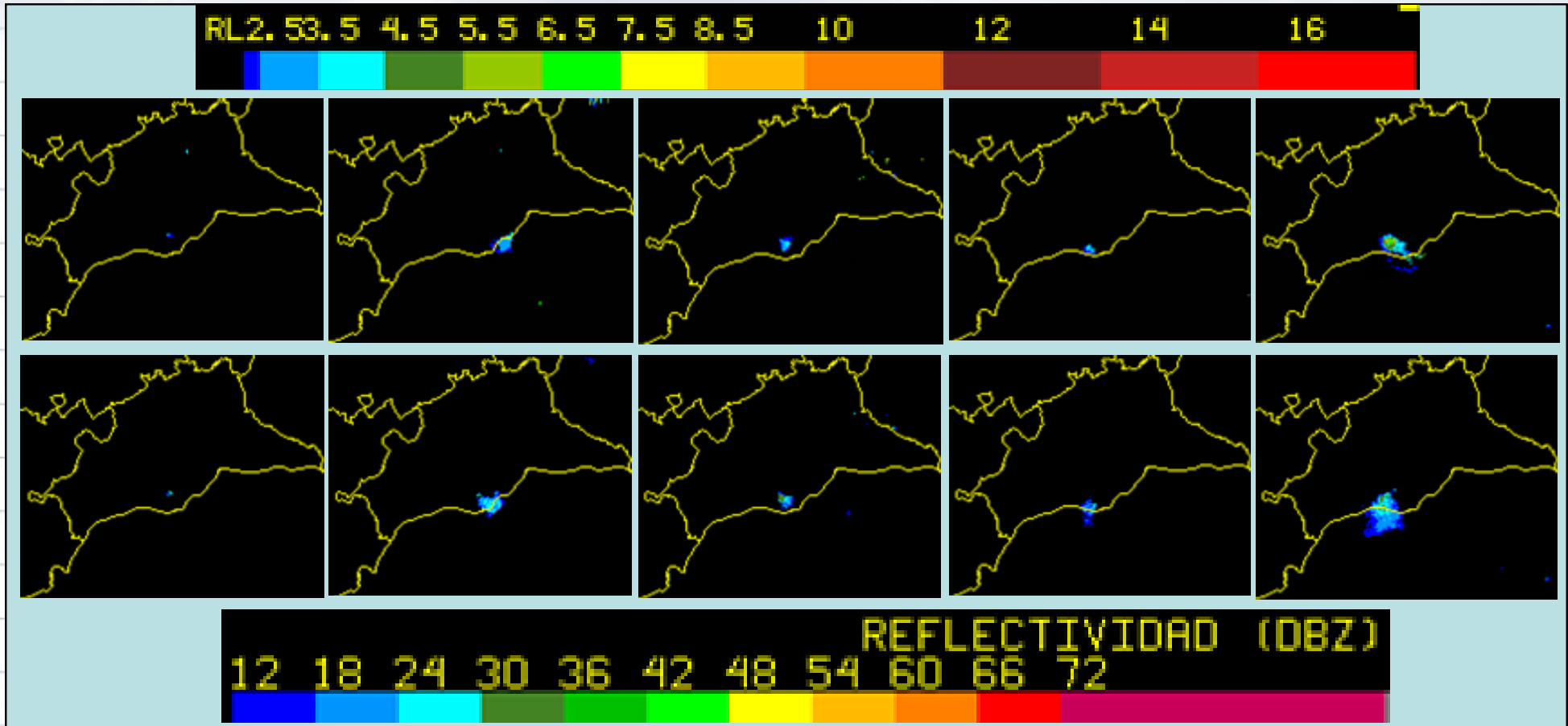
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología



El día 30 de agosto de 2012 se produjo en la zona de Barranco Blanco (Málaga) el incendio forestal históricamente más virulento de Andalucía, por su rapidez de propagación, con gran incidencia de pavesas de largo recorrido, y por la magnitud de las pérdidas económicas causadas, afectando a 8.592,16 hectáreas. Causó una muerte y la evacuación de unas 4000 personas, entre ellas el pueblo completo de Ojén.



- Imágenes de radar de Málaga. Arriba ecotops; de izquierda a derecha: 18:20: primeros ecos; 19:40, el pirocúmulo con ecotops entre 2,5 y 3,5 km se extiende hacia el E siguiendo los vientos del W a esta altitud, 20:40 ,poco antes del cambio de viento; 23:00 el viento ha girado a norte en el tope del pirocúmulo y 01:10 máximo desarrollo del pirocúmulo con ecotops que superan 7.5 km. Arriba ecotops. Abajo reflectividad en PPI*

El canal IR3.9 es el mejor para la detección de incendios usando un único canal del SEVIRI del MSG, respondiendo su señal a la temperatura de las cenizas ardientes y del CO<sub>2</sub> sobre la superficie quemada



- *Imágenes de canal IR3.9 $\mu$ m del Meteosat de 23:15, 23:30 y 23:45 UTC del día 30. Los detalles del fuego en la imagen se pierden a las 23:30 UTC por el denominado efecto de cegamiento, debido a la virulencia del incendio (saturación a temperaturas de brillo de 336 K )*

[http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/iotm/iotm/20120830\\_fire/20120830\\_fire.html](http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/iotm/iotm/20120830_fire/20120830_fire.html)



dos parámetros fundamentales para el desarrollo de fuertes tormentas:

- la inestabilidad condicional
- y la cizalladura vertical del viento.

La interacción de la cizalladura con una corriente ascendente convectiva:

- Crea perturbaciones de presión en altura que causan que se aceleren los movimientos verticales: una corriente de velocidad vertical  $w'$  en un ambiente con

cizalladura vertical  $\frac{\partial \vec{V}}{\partial z}$  crea una perturbación de la presión:

$$p' \propto \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} \cdot \nabla_z w'$$

- y las organiza: Se crean perturbaciones negativas y positivas de presión a ambos lados de la corriente ascendente en la dirección del vector cizalladura, negativas en el lado hacia donde se dirige el vector cizalladura, impulsando ascendencias, y positiva en el lado contrario impulsando las descendencias.

Efectos de la tormenta en Pulpí (Almería) 30-31 de agosto de 2012



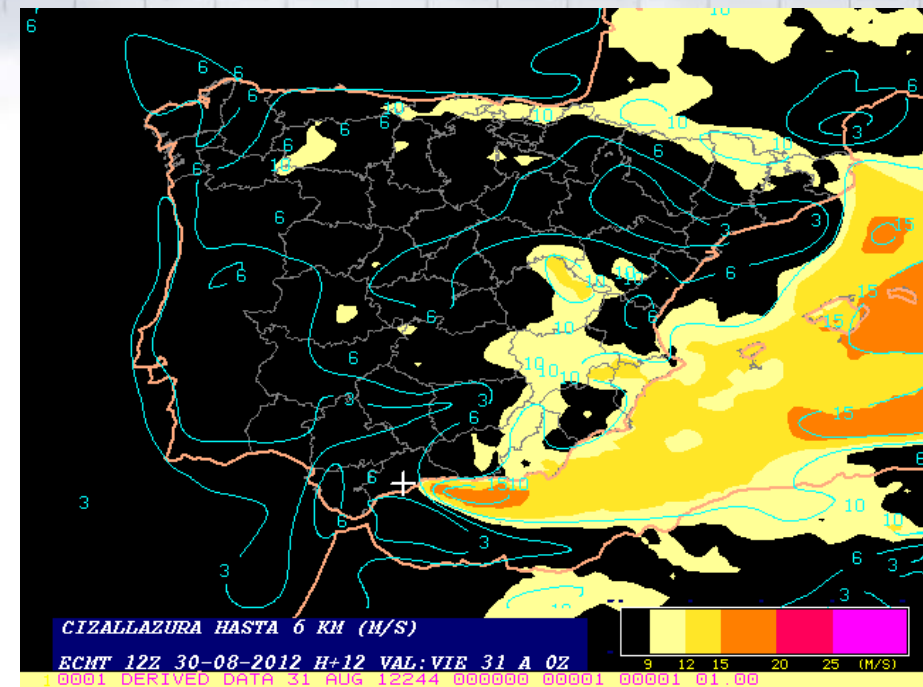
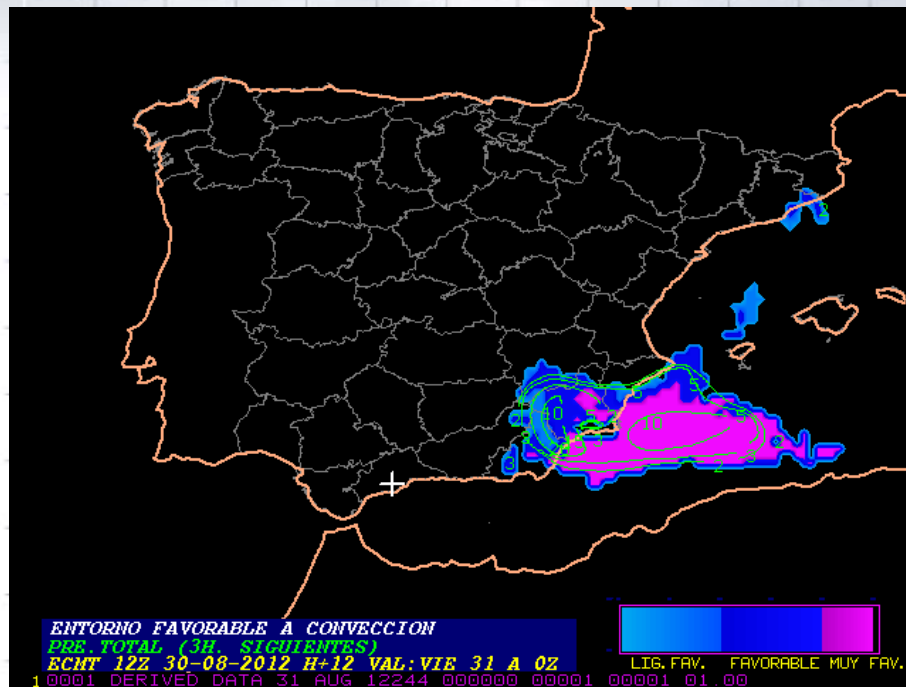
## Cizalladura vertical. Zonas favorables a convección



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología



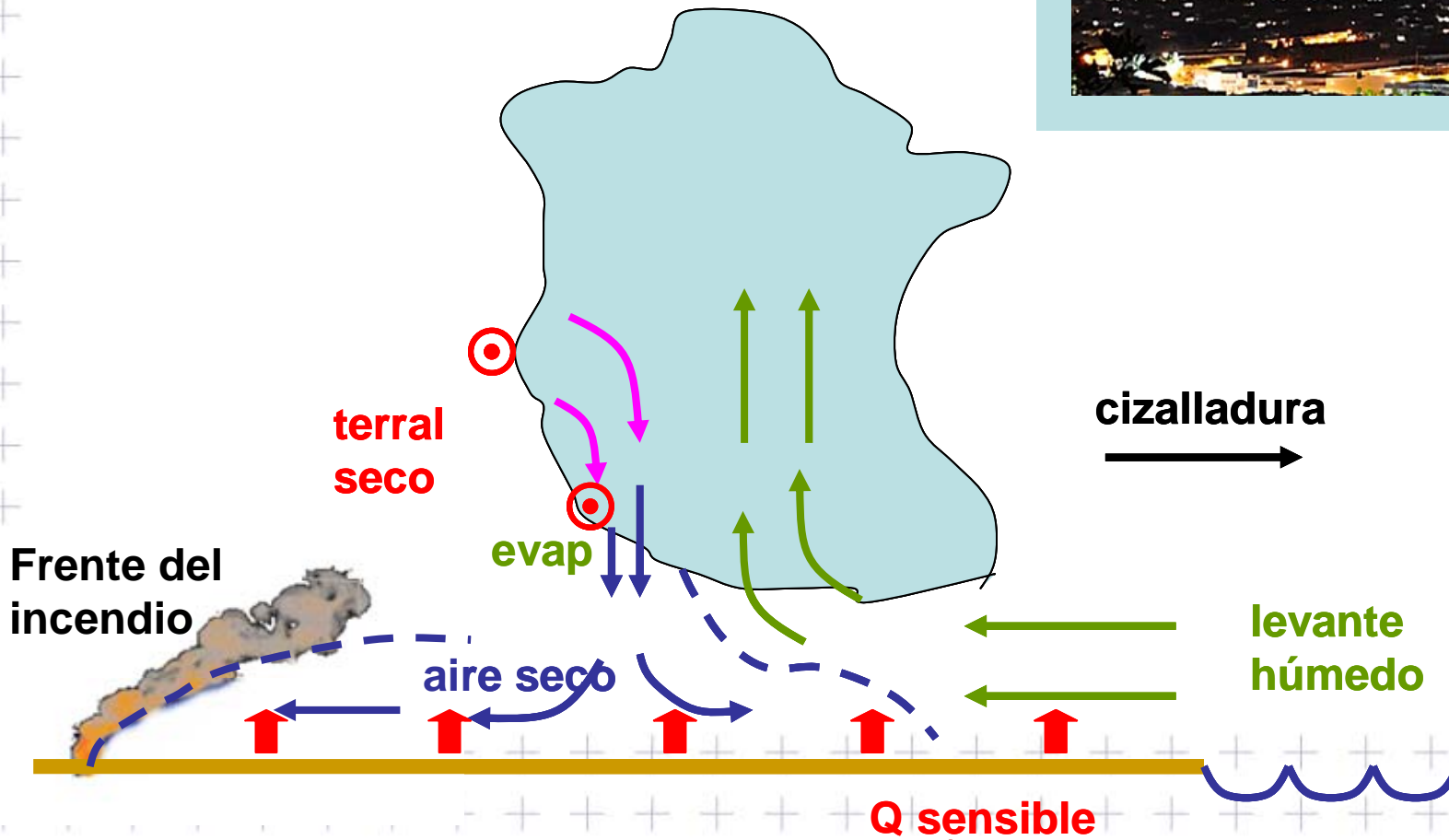
*Izquierda: entorno favorable a la convección; Derecha: cizalladura vertical del viento en los primeros 6 km. Ambos sobre datos previstos por el modelo IFS del ECMWF para el día 31 a 00 UTC.*

*El ambiente no era propicio para disparar la convección a las 00 UTC en la provincia de Málaga, pero el incendio + la entrada de aire húmedo con el levante contribuyeron a crear el pirocúmulo*





Esquema incendio 30 agosto 2012 fase madura





- El pirocúmulo era un producto del incendio pero a su vez mantenía el flujo marítimo de levante, lo hacía ascender, lo reseca en la corriente descendente, y alimentaba el incendio. Todo esto gracias a la organización de las corrientes verticales en el pirocúmulo, efecto a su vez de la cizalladura vertical del viento.
- Por tanto parece que la cizalladura del viento que es un factor importantísimo en la organización de la convección haciéndola más estacionaria y severa, puede ser también un factor importante en la organización y duración de los incendios





## Parte II

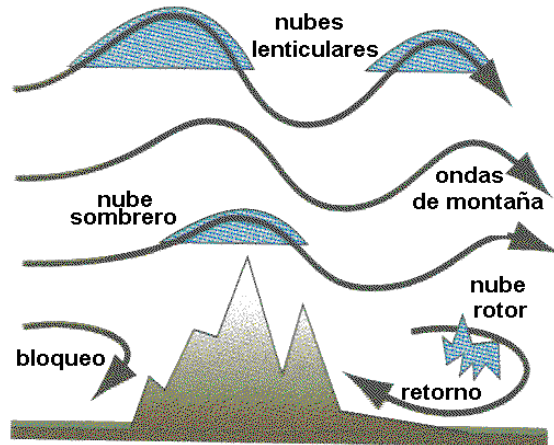
# Fenómenos meteorológicos que pueden afectar a las aeronaves contra incendios

Fenómenos meteorológicos que pueden afectar a las aeronaves contra incendios

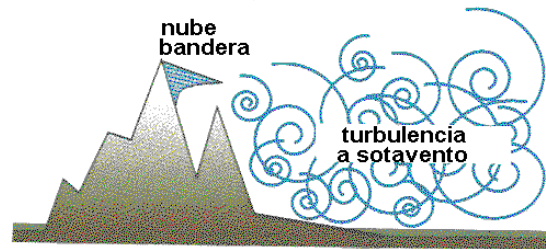


GOBIERNO DE ESPAÑA

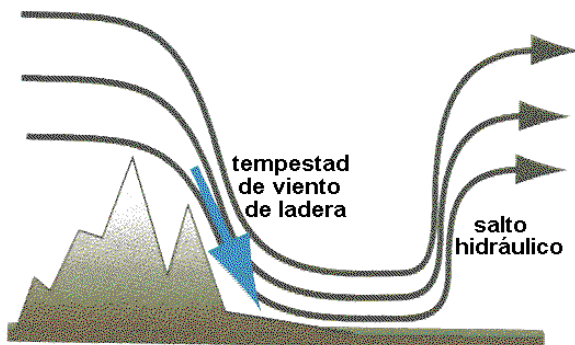
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



(a)

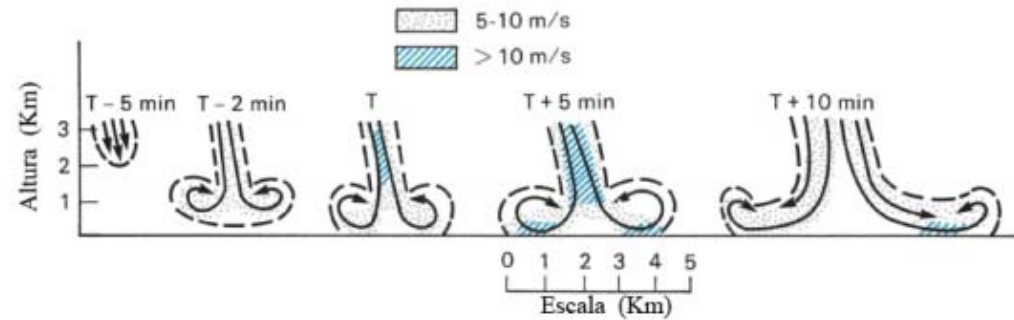


(b)

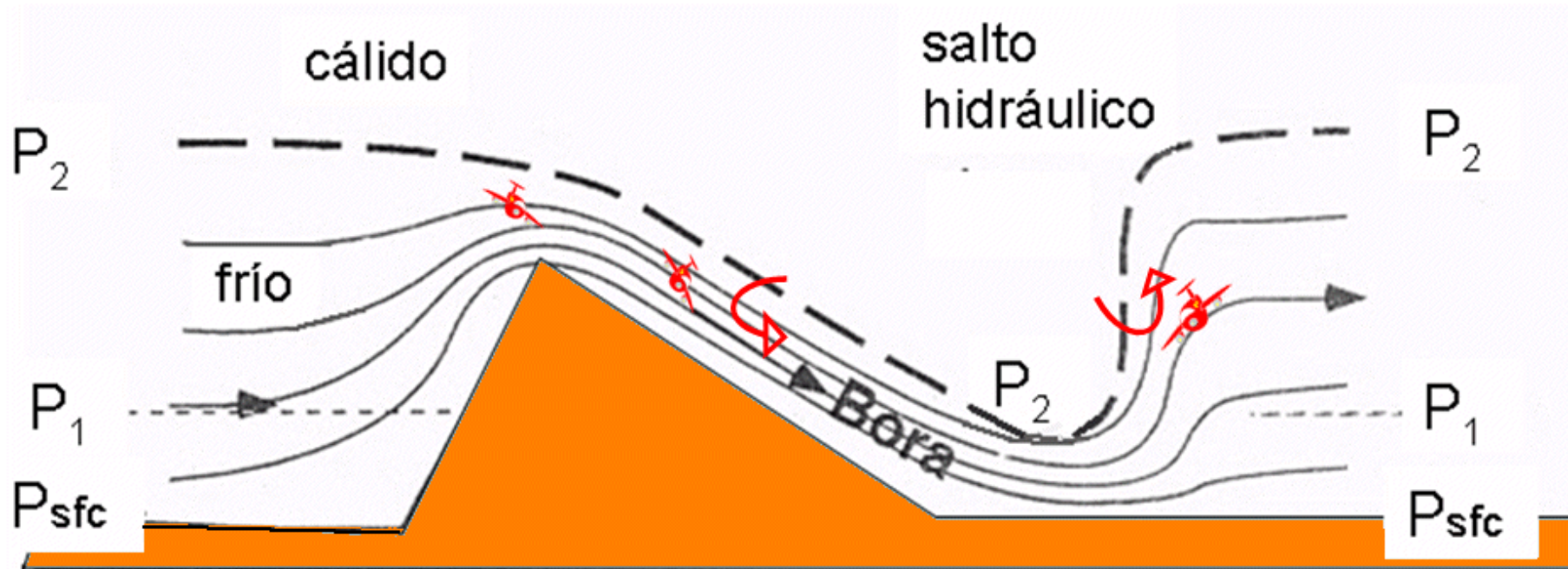


(c)

(d) microrreventones



- **Vientos muy fuertes de ladera y saltos hidráulicos**



turbulencia severa asociada los vientos intensos; fuerte cizalladura próxima a la superficie; problemas con altímetros sobre las cumbres; turbulencia en el salto hidráulico.



Bora 4 febrero 2012



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

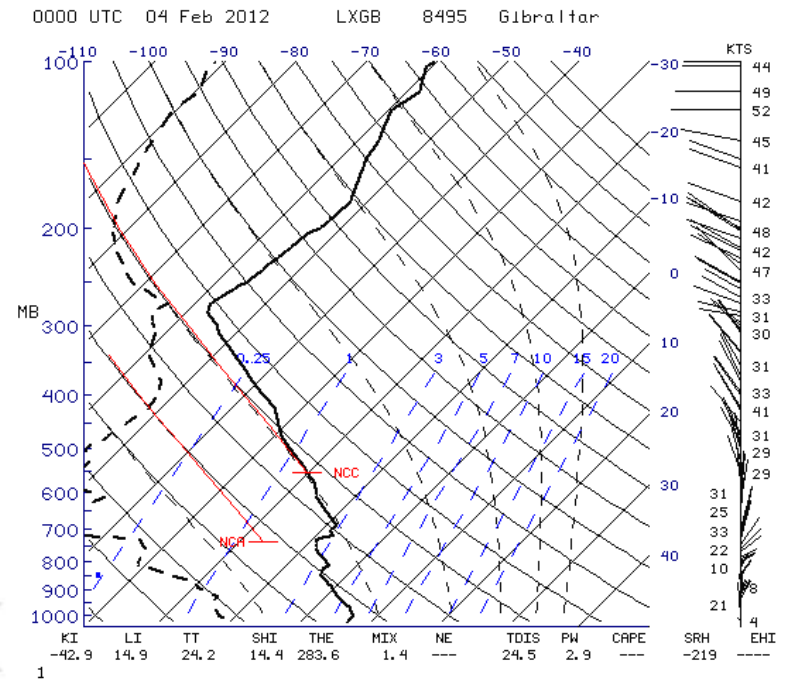
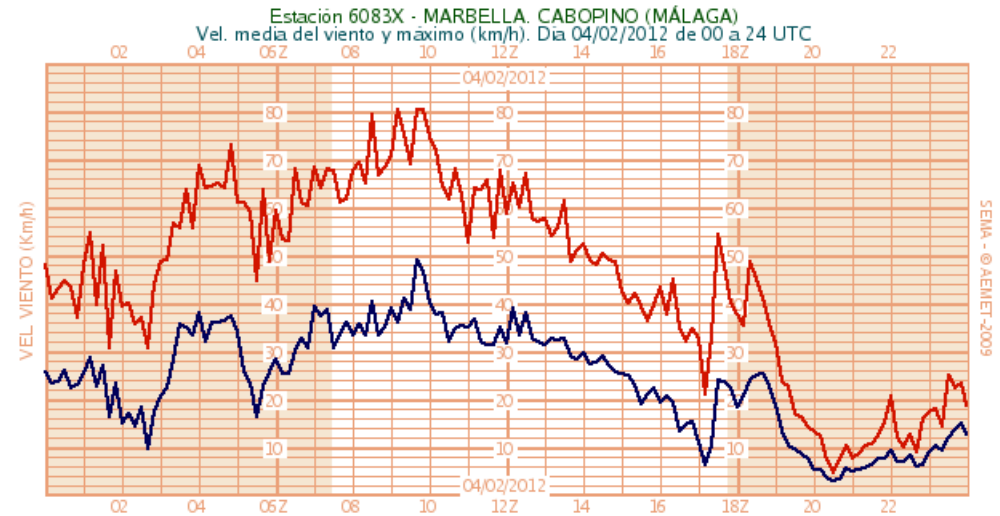
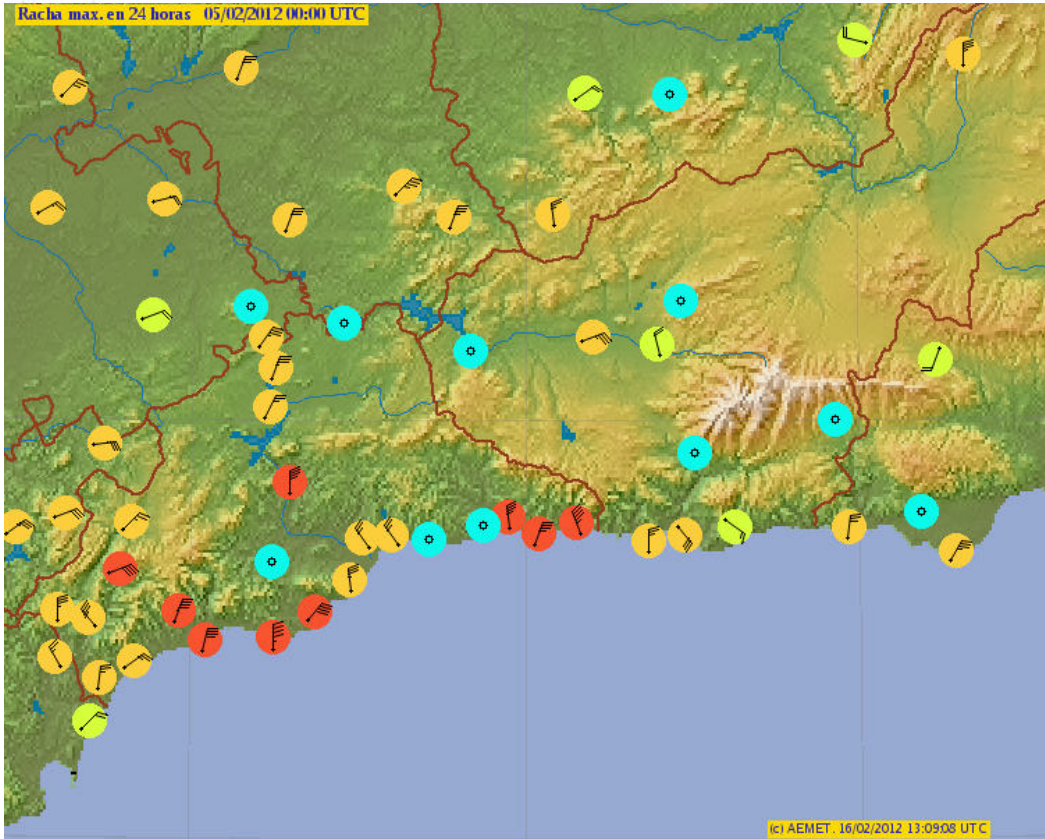
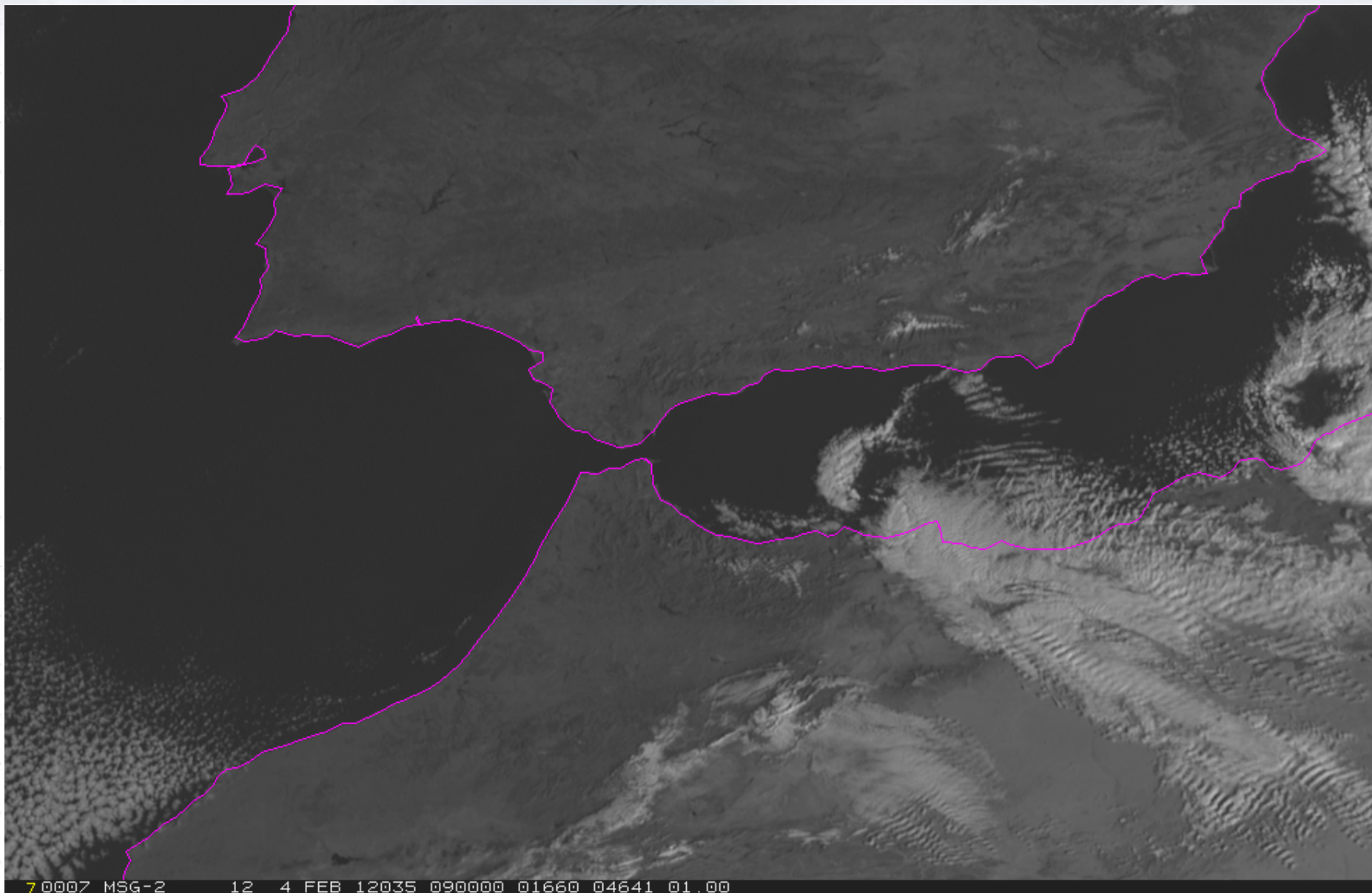


Imagen HRV 9 UTC del día 4 de febrero de 2012



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



7 0007 MSG-2 12 4 FEB 12035 090000 01660 04641 01.00

21/11/2015

Proyecto ZOLA, Málaga

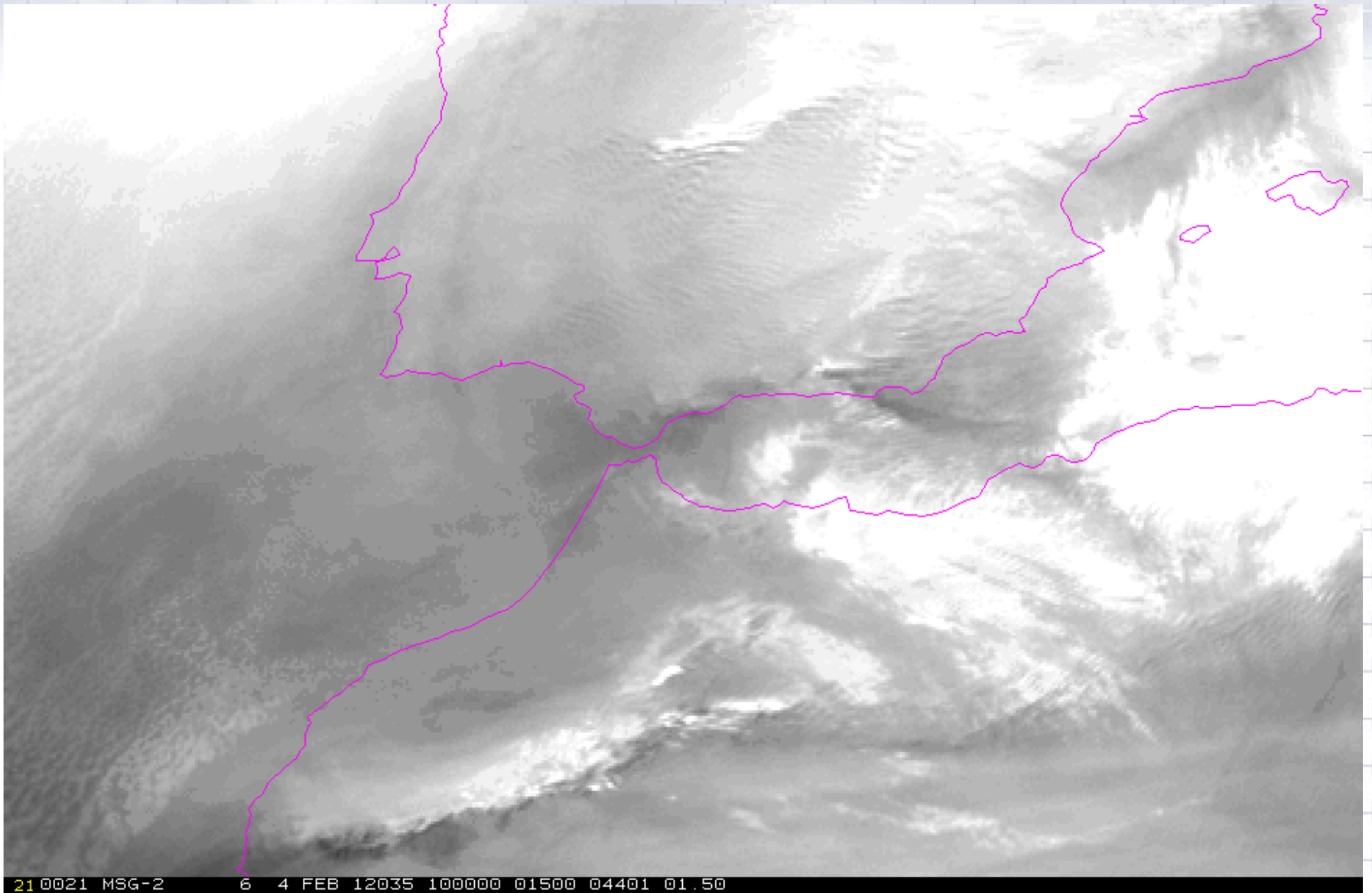
Imagen WV 7.3  $\mu\text{m}$  10 UTC del 4 de febrero de 2012



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología



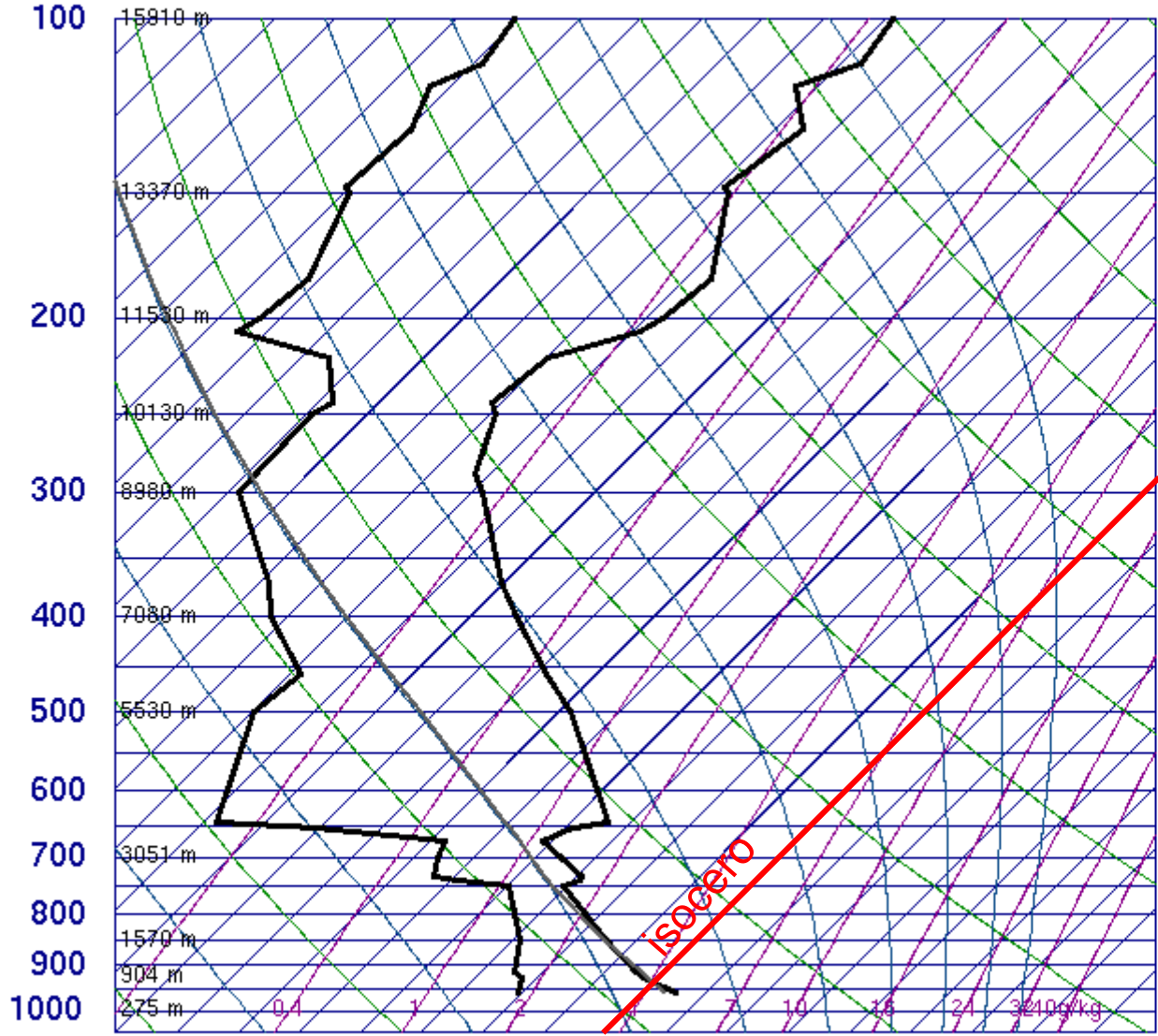
21 0021 MSG-2 6 4 FEB 12035 100000 01500 04401 01.50  
21/11/2015





Altitud 1000 500

### 08221 LEMD Madrid



12Z 04 Feb 2012

University of Wyoming



SLAT	40.50
SLON	-3.58
SELV	633.0
SHOW	12.72
LIFT	12.37
LFTV	12.34
SWET	138.0
KINX	-2.70
CTOT	14.60
VTOT	21.60
TOTL	36.20
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	259.5
LCLP	783.6
MLTH	278.3
MLMR	1.72
THCK	5255.
PWAT	3.82

a 700.0 hPa, 3051  
m 35° 62 kt = 115  
km/h

Daños en Marbella 4 de febrero de 2012



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



21/11/2015



## Incendio de Pujerra 4 de febrero de 2012



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

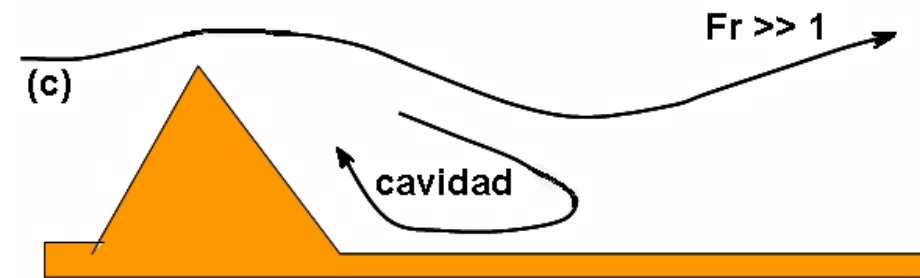
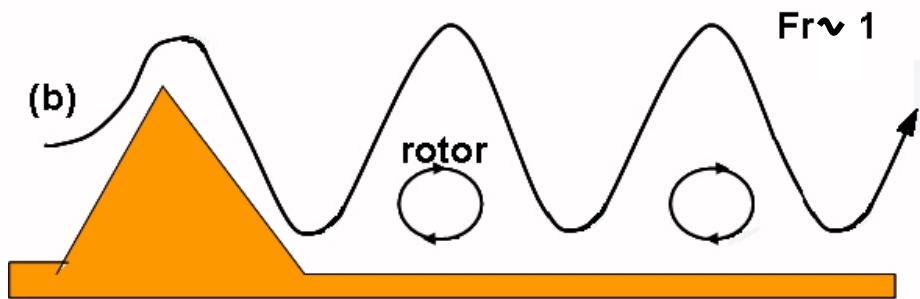
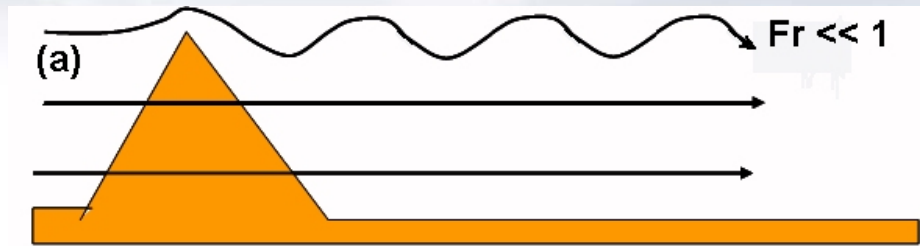
MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología



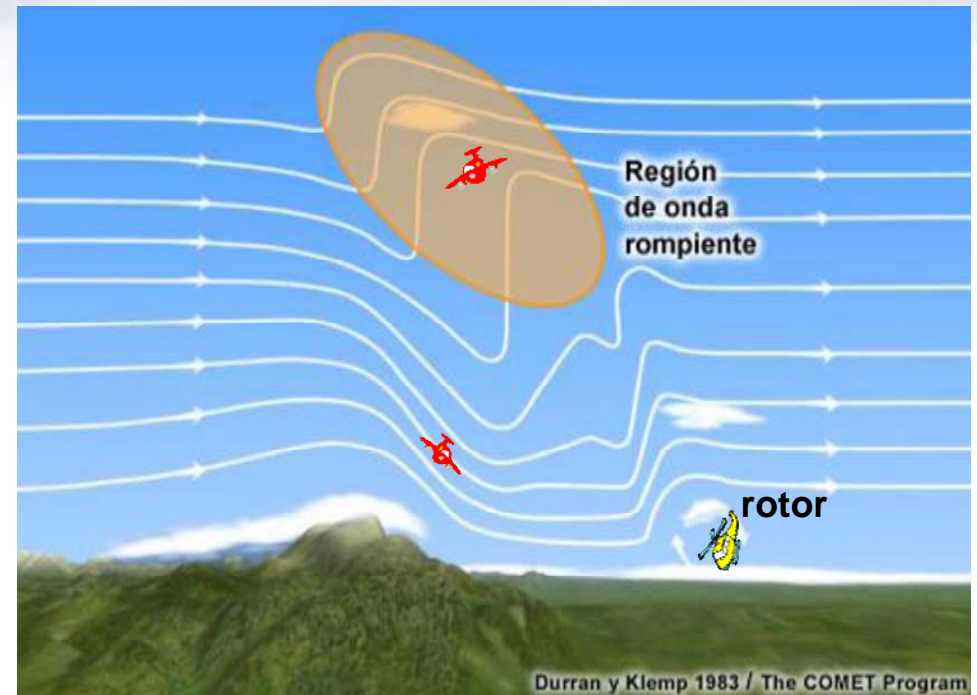
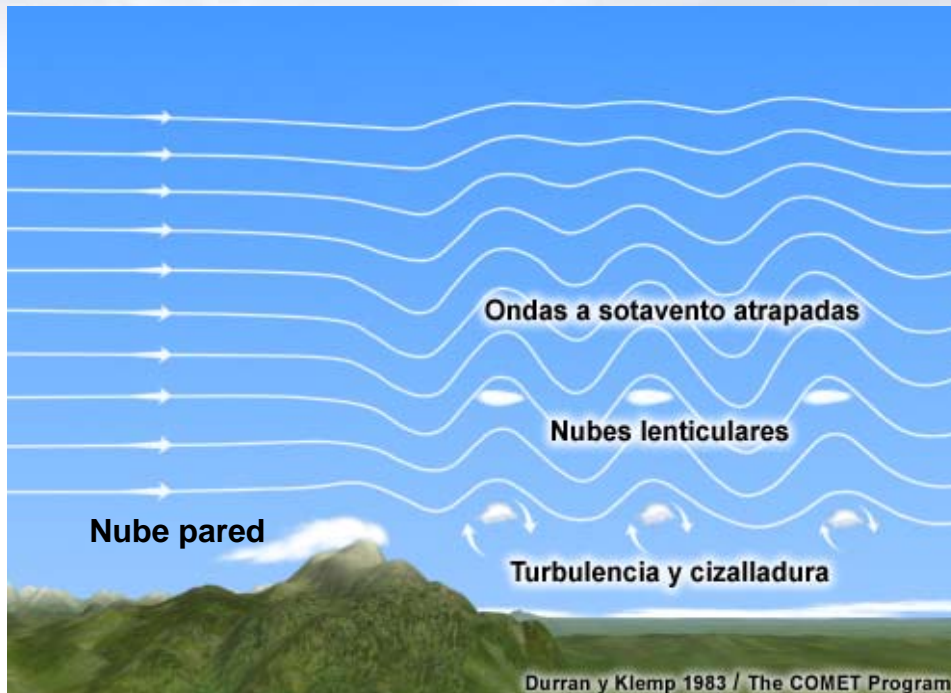
- Se quemaron 900 ha.
- viento muy fuerte
- nubes orográficas encima del incendio,
- Temperaturas  $< 0^{\circ}\text{C}$ .
- El agua de los helicópteros caía en copos (no apagaba nada).
- Los *focas* no podían abrir las compuertas por los mecanismos de seguridad: el agua de las descargas se hubiese helado sobre le fuselaje





$$\lambda = \frac{2\pi U}{N} \quad Fr = \frac{\lambda}{2 \cdot W}$$

- Las ondas de montaña, dependen de
- $U$ , velocidad del viento incidente perpendicular a las montañas
- $N$ , frecuencia de Brunt-Väisälä, también la estabilidad de la masa de aire,
- $W$ , anchura de la montaña
- Al perturbarse el flujo de aire con los obstáculos montañosos, las parcelas de aire se pone a oscilar con la frecuencia de Brunt-Väisälä,  $N$  y una longitud de onda  $\lambda$ .
- Cuanto más fuerte el viento, y menor la estabilidad, mayores son las longitudes de onda con las que las parcelas de aire oscilan.
- La relación entre esta longitud de onda y la anchura de las montañas  $W$  la da el número de Froude, que es fundamental para prever las características de las ondas.



- *Ondas de montaña en situaciones de  $Fr \sim 1$  mostrando nubes lenticulares y nubes rotor; derecha: ruptura de las ondas y señaladas zonas especialmente peligrosas al vuelo. **COMET Program***

## Nubes lenticular y rotor



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología



*Fernando Bullón (2010)*

21/11/2015

Fuegored 2015, Málaga

35





- *Daños en Mijas producidos probablemente por un rotor, 26-II-2015.  
(Foto obtenida de la aplicación SINOBAS; [sinobas.aemet.es](http://sinobas.aemet.es))*

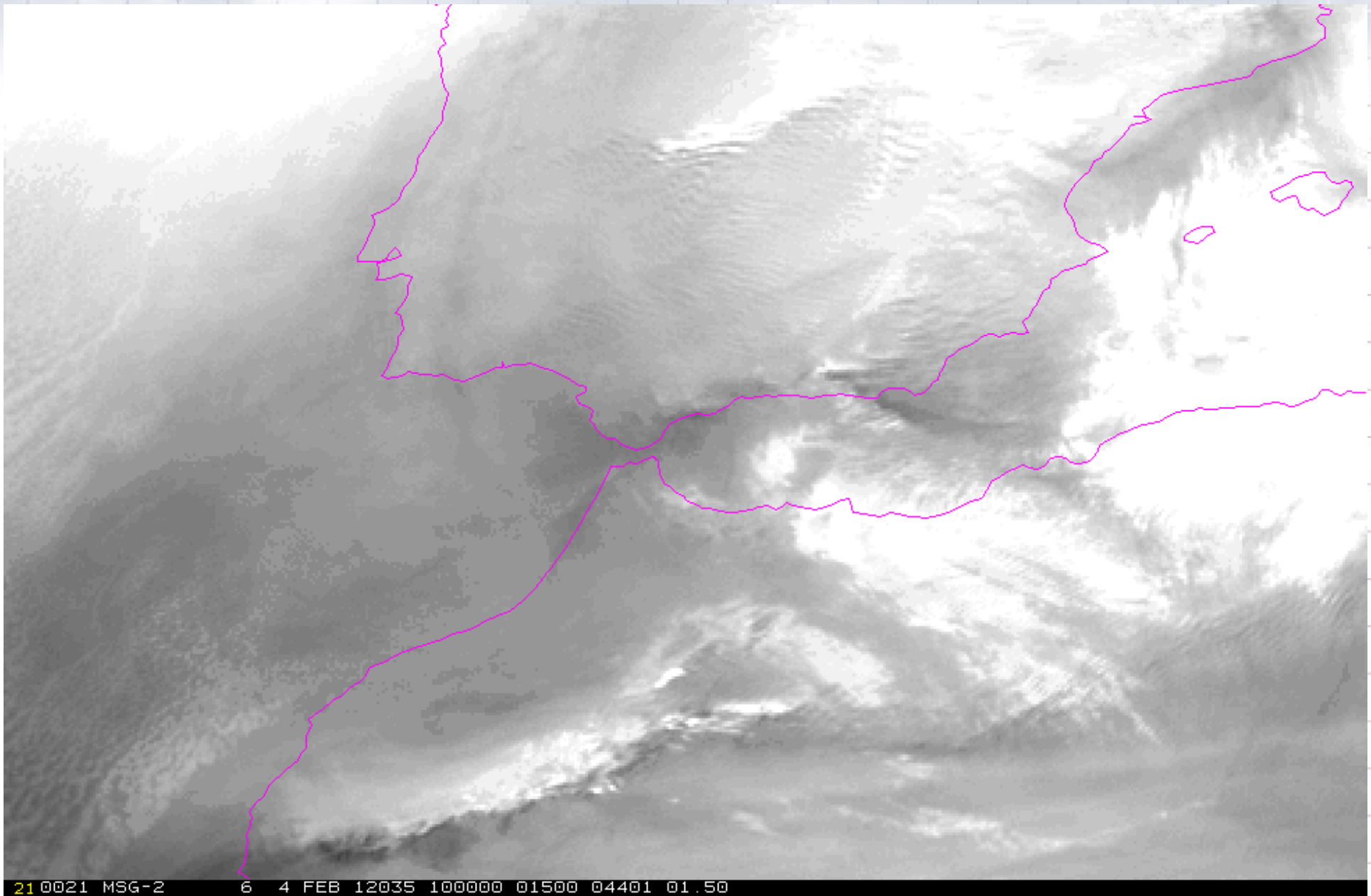
Imagen WV 7.3  $\mu\text{m}$  10 UTC del 4 de febrero de 2012



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología



21 0021 MSG-2 6 4 FEB 12035 100000 01500 04401 01.50  
21/11/2015

Nube pared desde sotavento. Caldera de Taburiente (La Palma)



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

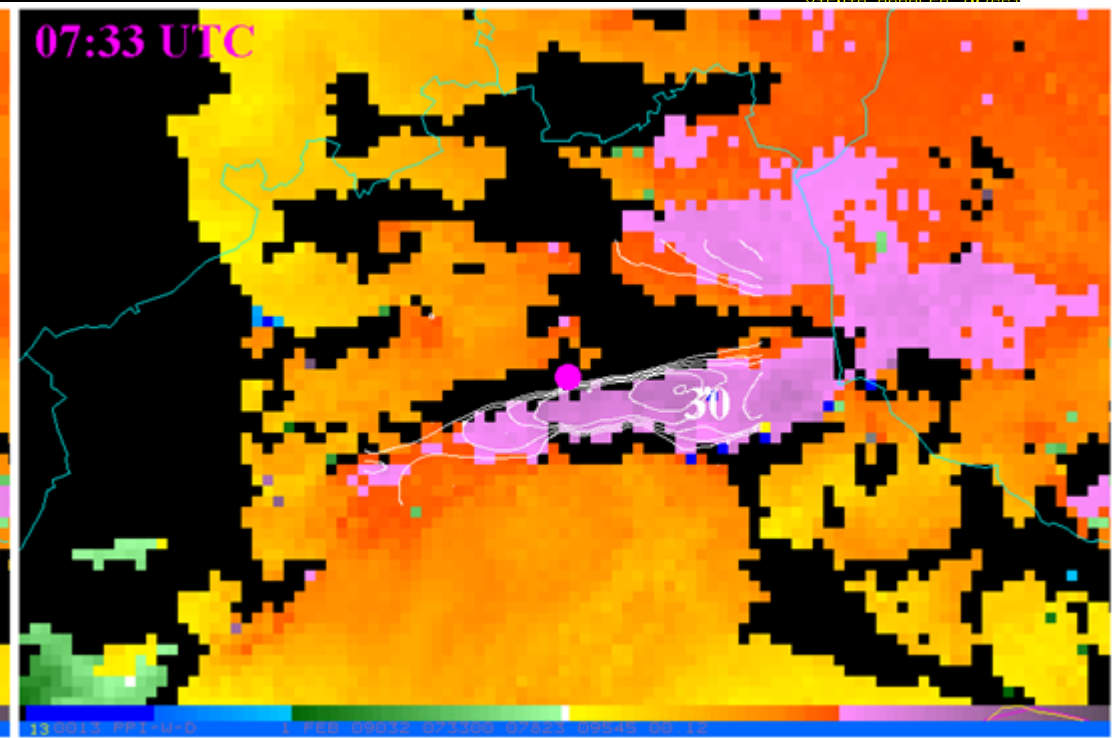
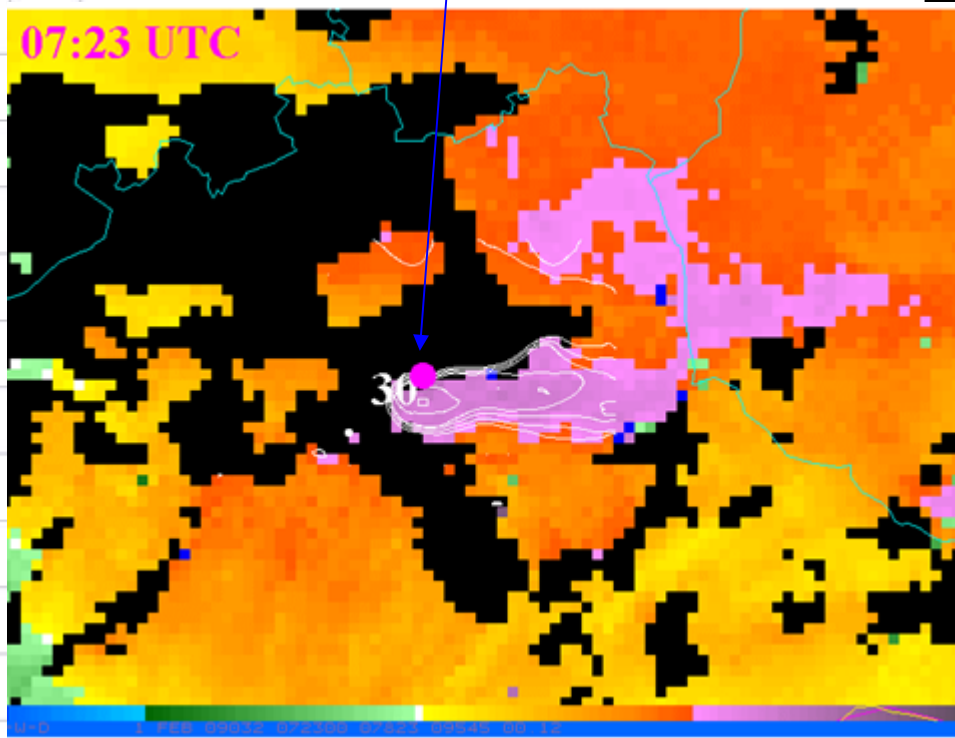
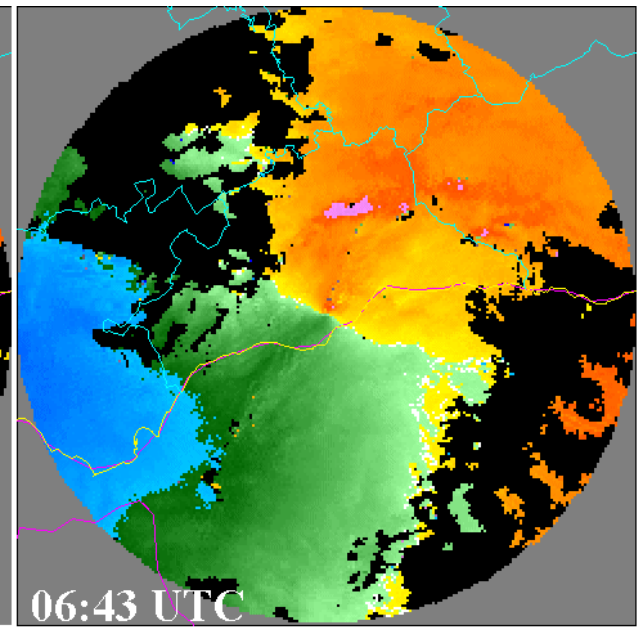
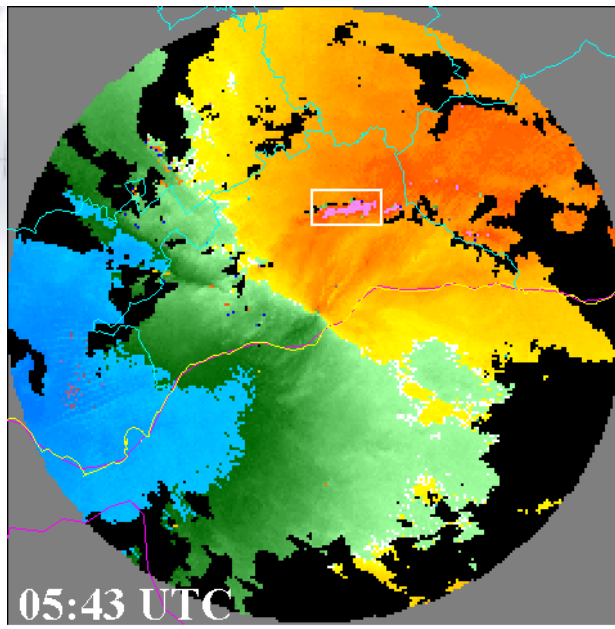


- Volar en las nubes pared, peligro por error de altímetros y, para temperaturas bajas, por engelamiento en el fuselaje

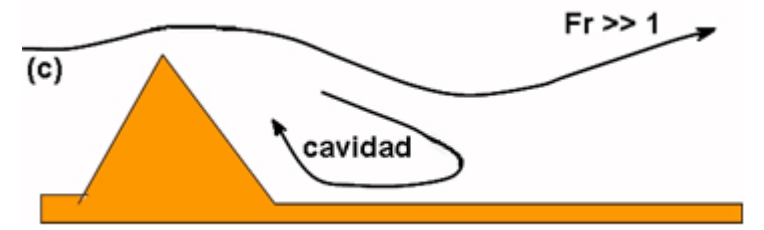
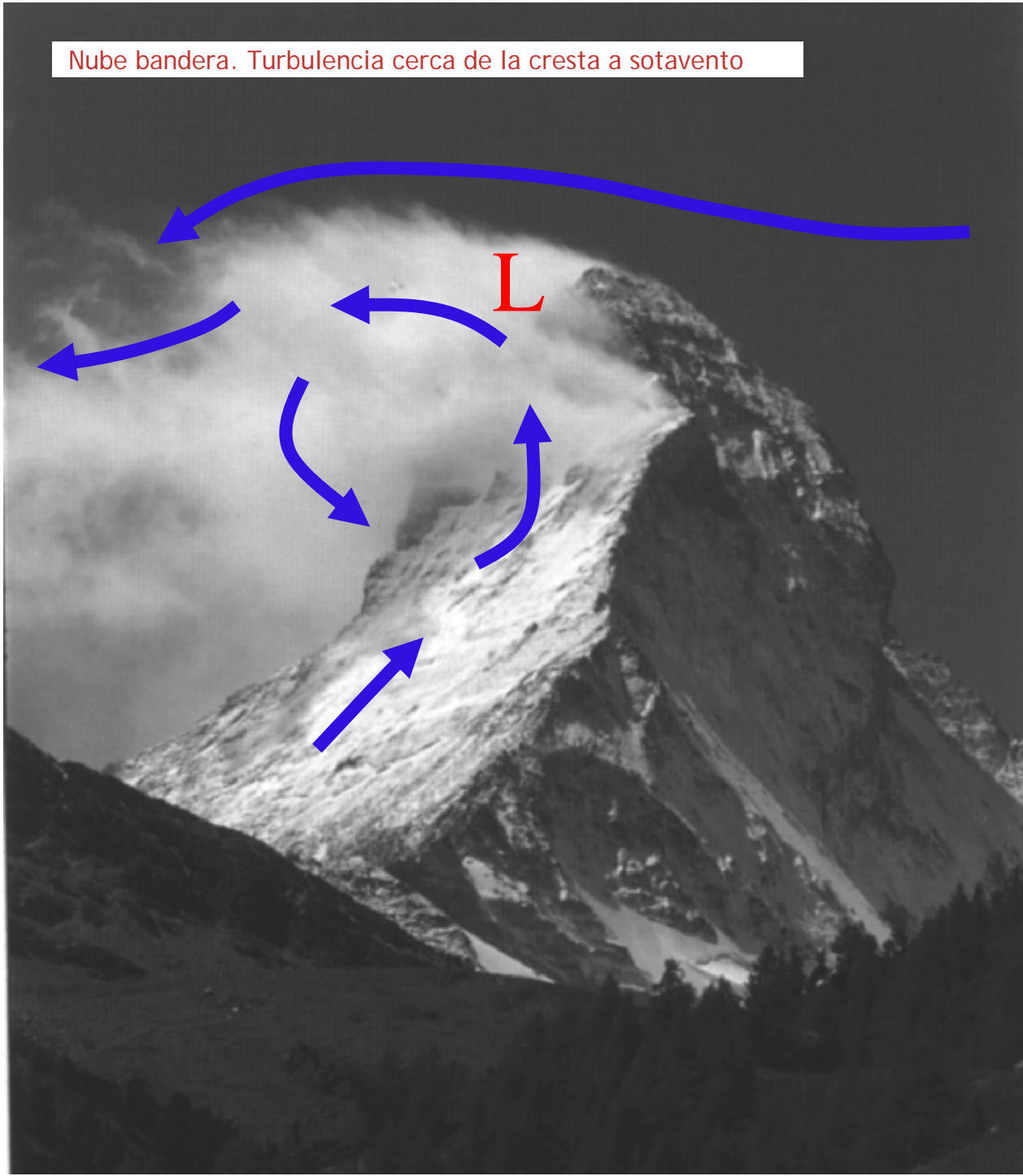


1 DE FEBRERO DE 2009: vientos del SW muy fuertes, 30 m/s, a unos 1600 metros de altitud, sobre la sierra del Torcal de Antequera. Imágenes de viento doppler del radar de Málaga. Abajo detalle del recuadro en las proximidades de Antequera

Antequera



Nube bandera. Turbulencia cerca de la cresta a sotavento



Es frecuente que los incendios sean provocados por descargas eléctricas asociadas a tormentas, y los efectos de las tormentas en la navegación aérea son importantes. Estos incluyen turbulencia, hidrometeoros (granizo, engelamiento, ...), corrientes descendentes (reventones y frentes de racha) y ascendentes, y rayos.

Además, en las zonas aire claro que rodean las células tormentosas o los yunques, aparentemente seguras para el vuelo, si no pueden evitarse, hay que tomar precauciones, pues los aviones pueden ser afectados por rayos, ondas a sotavento ...



## Incendio de Quesada 5 julio 2015



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

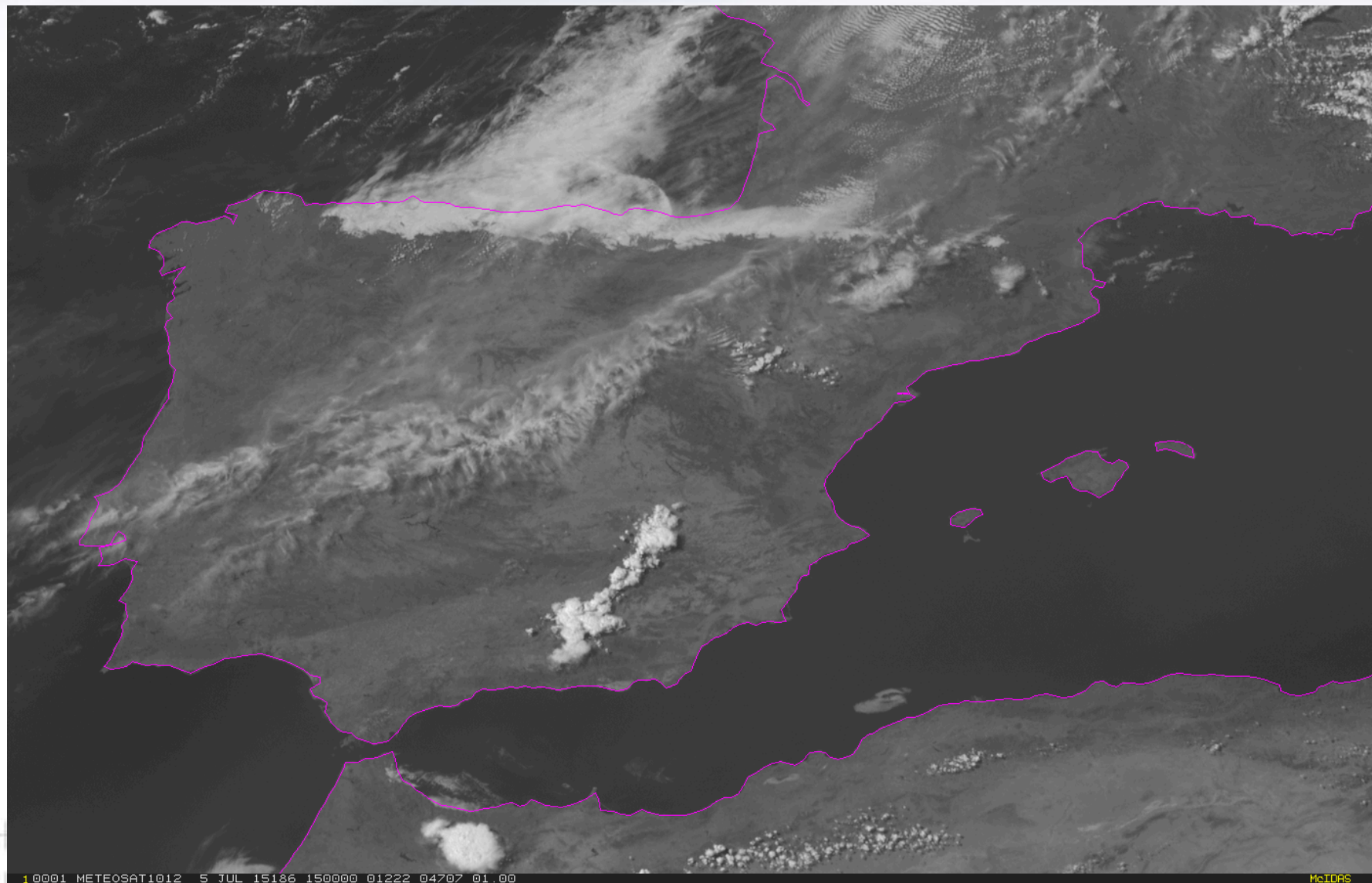
**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología

Fue un incendio por rayo, con importantes fenómenos "convectivos", que se volvió a activar por otra tormenta con rayos que obligó a aterrizar los medios aéreos y con los vientos erráticos que origino, desmadró el incendio.

Se quemaron más de 10.000 ha, fue mas grande que el de Barranco Blanco y mas dañino, ya que quemó una zona de alto valor ecológico.



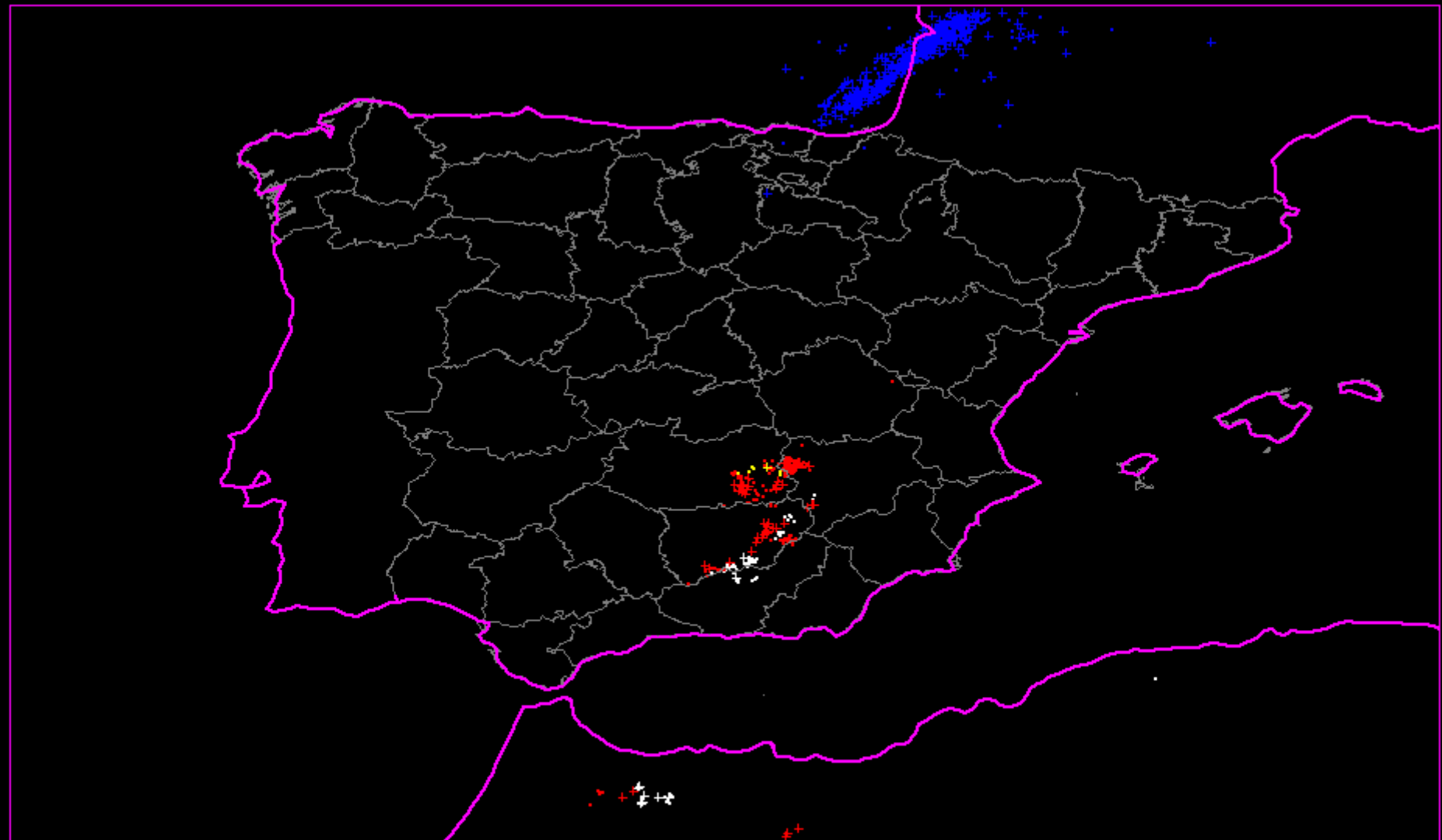
Incendio de Quesada 5 julio 2015: Imagen vis 15 UTC



10001 METEOSAT1012 5 JUL 15186 150000 01222 04707 01.00

McIDAS

### Incendio de Quesada 5 julio 2015: Rayos



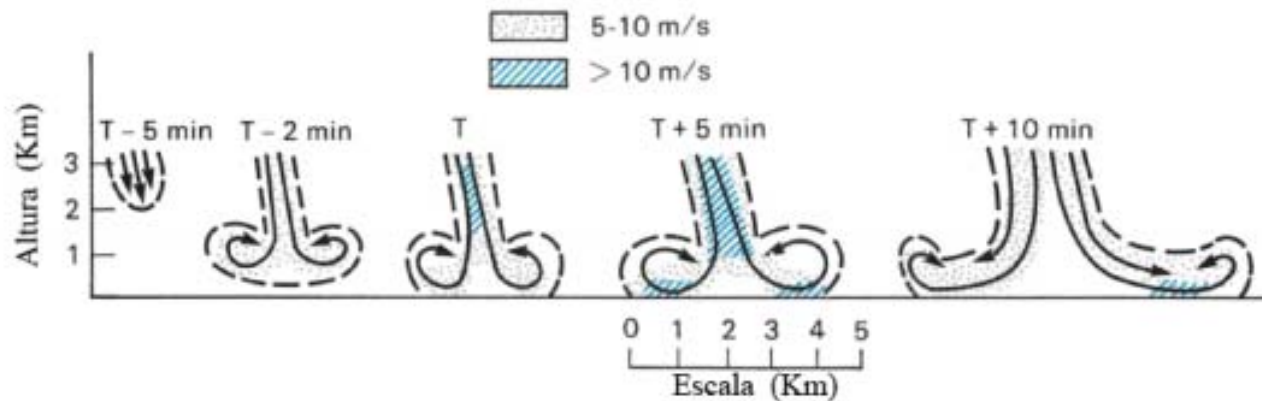
RAYOS(FLAG ) PERIODO= 5/JUL 00: 00: 00 AL 5/JUL 23: 59: 59 T. rayos=894  
T(hh: mm: ss) = <03: 59: 59<07: 59: 58<11: 59: 57<15: 59: 56<19: 59: 55<23: 59: 54  
RAYOS+(339) = 281 0 0 10 47 1  
RAYOS-(555) = 314 0 0 59 176 6

RAYOS dia: 05 Jul 2015





- Reventón: fuerte corriente descendente convectiva, originada a menudo en el seno de una nube de tormenta, que ocasiona vientos destructores



Fases de la formación de un reventón (Fuente: Wilson, et al. 1984)

- Reventón: fuerte corriente descendente convectiva, originada a menudo en el seno de una nube de tormenta, que ocasiona vientos destructores.
  - Dimensión horizontal inferior a diez kilómetros,
  - Tiempo de vida 5 - 30 minutos.
- Microrreventón:
  - dimensión horizontal inferior a cuatro kilómetros.
  - Tiempo de vida < 15 min
  - las proximidades del microrreventón pueden encontrarse vientos fuertes (incluso > 50m/s) y rápidos cambios de dirección de 180°
  - En casos extremos se han observado velocidades verticales de casi 10 m/s 100m por encima del suelo
- Los reventones pueden ser húmedos o secos, según que la precipitación asociada llegue o no al suelo.
- Los microrreventones secos son muy peligrosos porque la virga visible, relacionada al proceso de iniciación de un microrreventón, se evapora y se vuelve invisible cuando se aproxima a la superficie. Como la duración del descenso de la corriente es de unos 5 min, puede ser difícil de relacionar una observación de una virga a un microrreventón resultante

Posible microrreventón húmedo



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Fernando Bullón

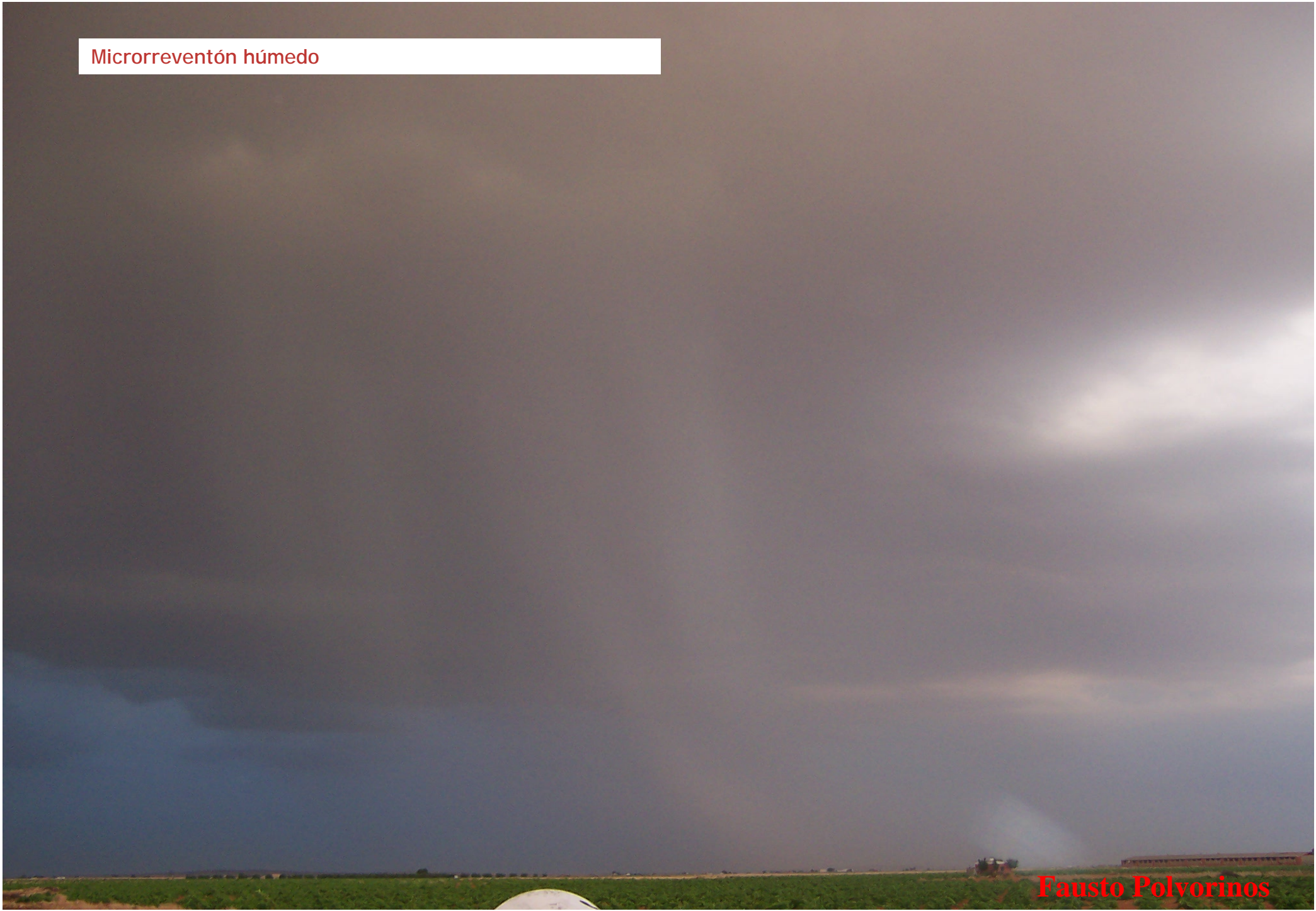
21/11/2015

Fuegored 2015, Málaga

47



Microrreventón húmedo



Fausto Polvorinos

virgas



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

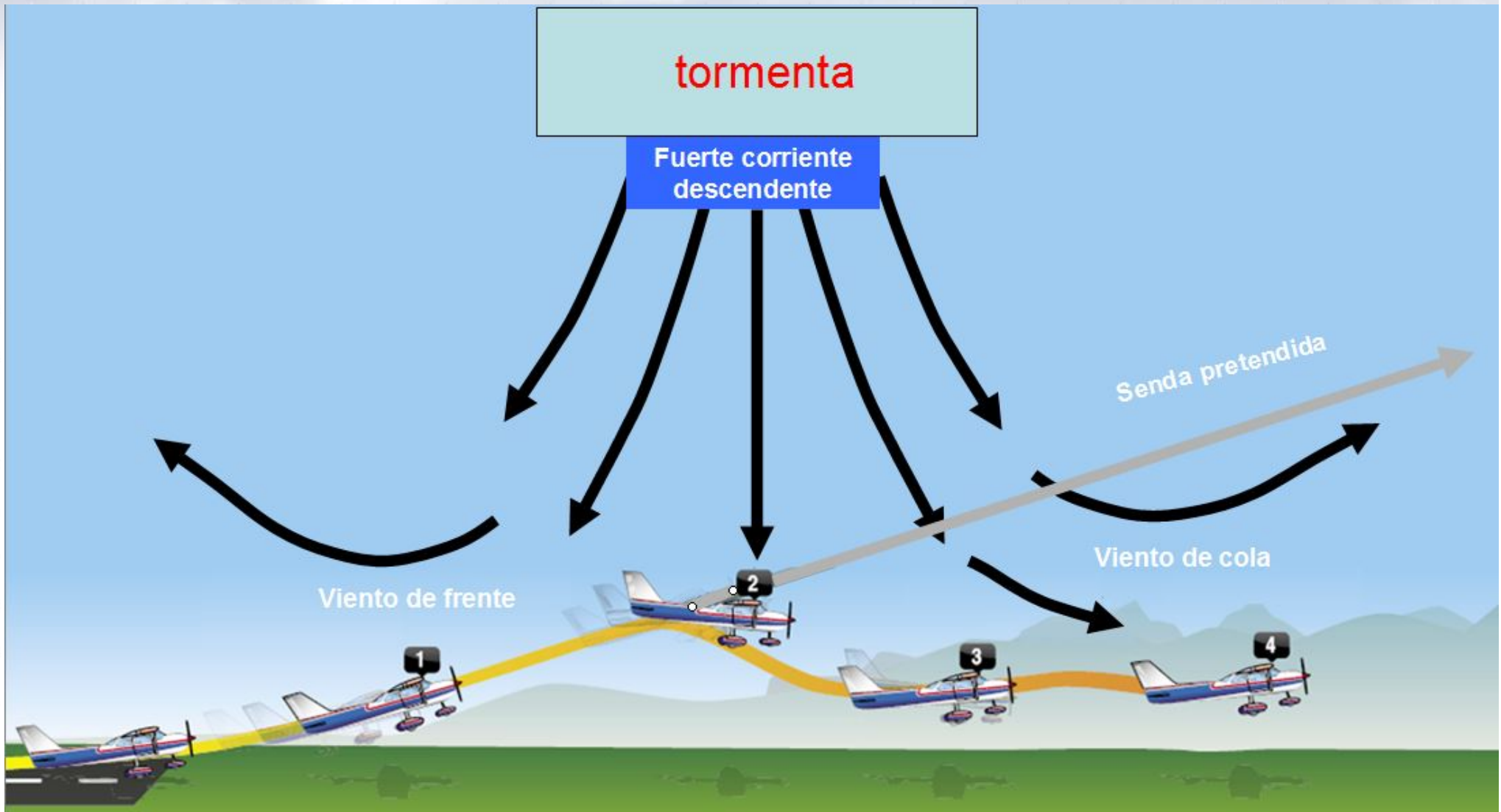


21/11/2015

Fuegored 2015, Málaga

49





- *Microrreventón: particularmente peligroso por la velocidad vertical descendente y por la cizalladura horizontal del viento para aeronaves en operaciones de aterrizaje y despegue.*

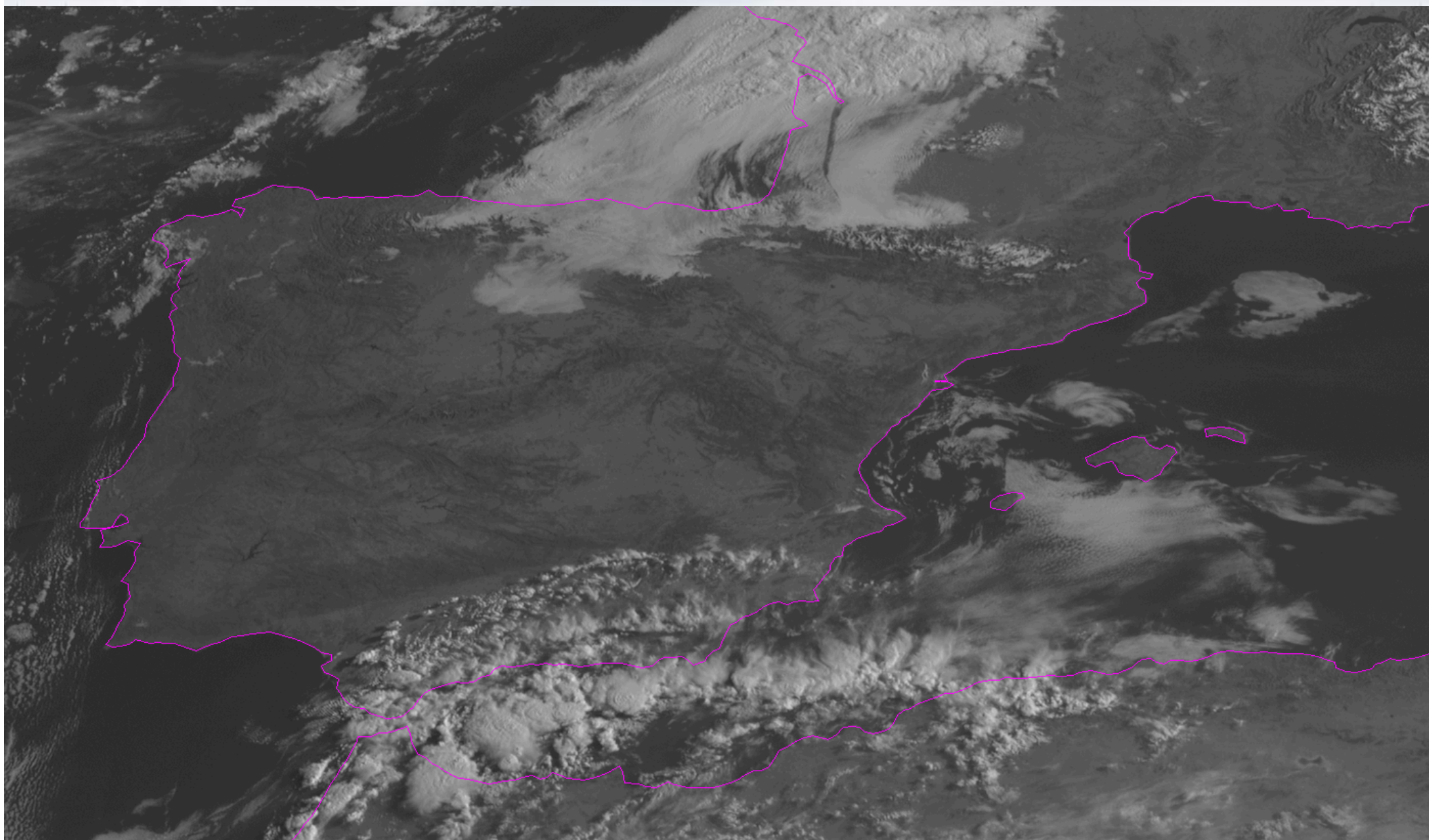


# Situación propicia a microrreventones seco

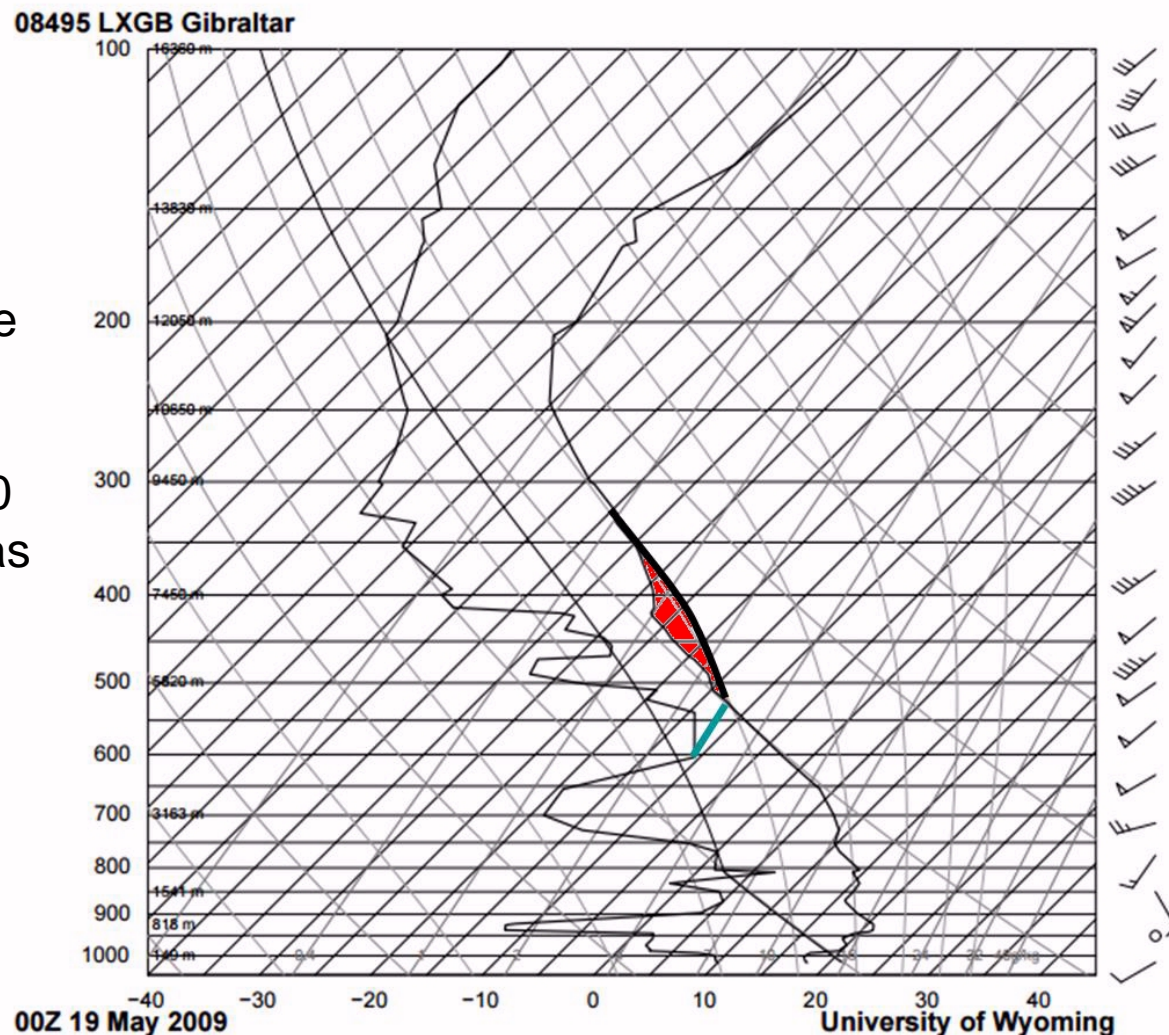


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

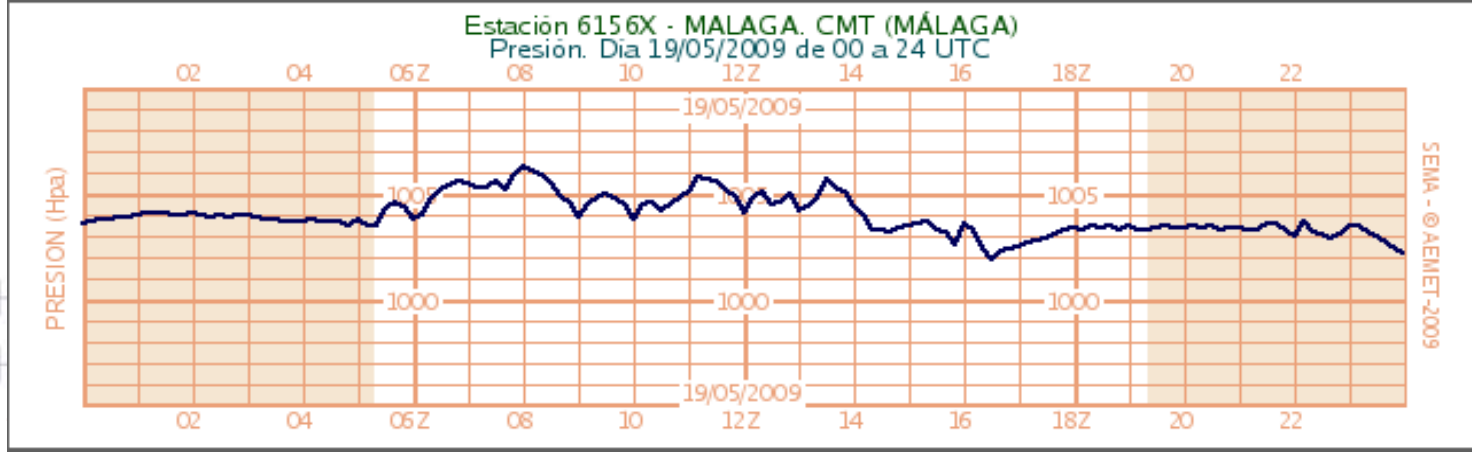
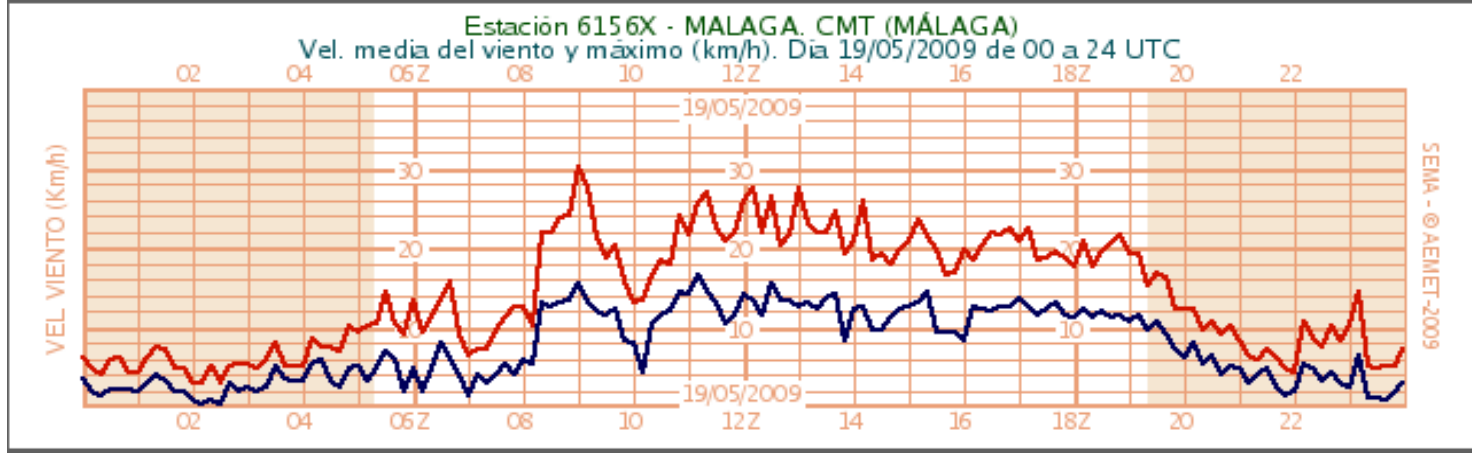
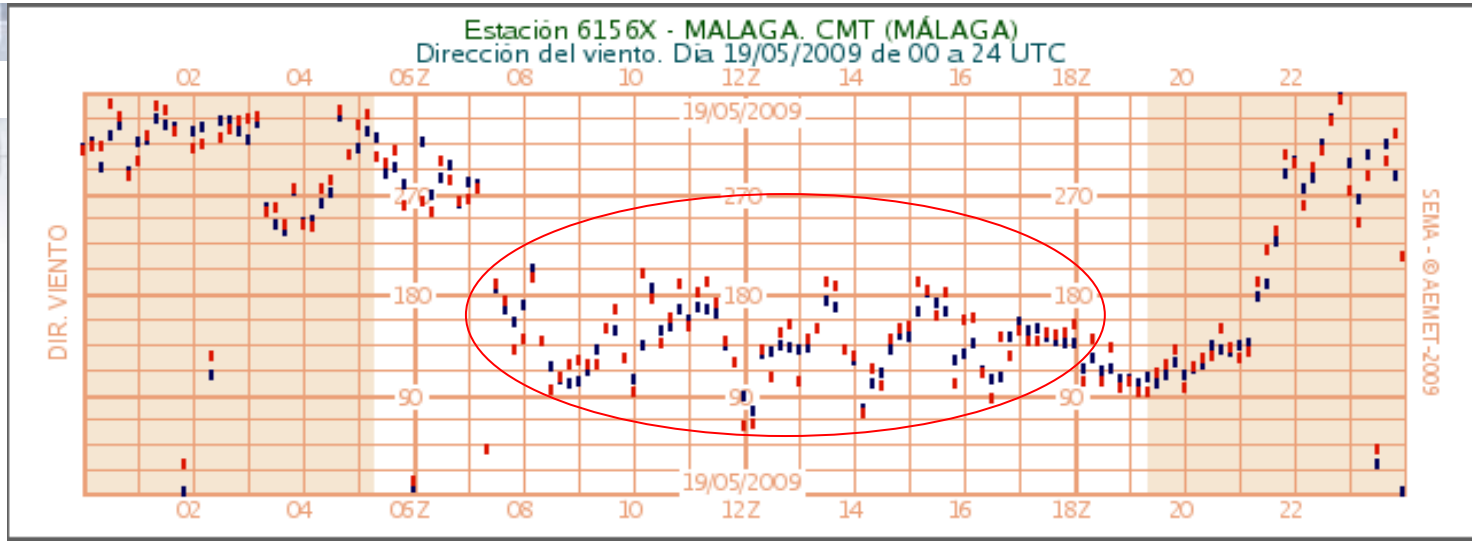


predicador de reventones secos: gradiente vertical de temperatura entre 500 y 700 hPa. Siendo más probable que ocurran cuando sea  $> 8^{\circ} \text{C}/\text{km}$ .



$$-\frac{T_{500} - T_{700}}{Z_{500} - Z_{700}} = -\frac{-15.7 - 7.2}{5.820 - 3.163} = 8.6^{\circ} \text{C}/\text{km}$$





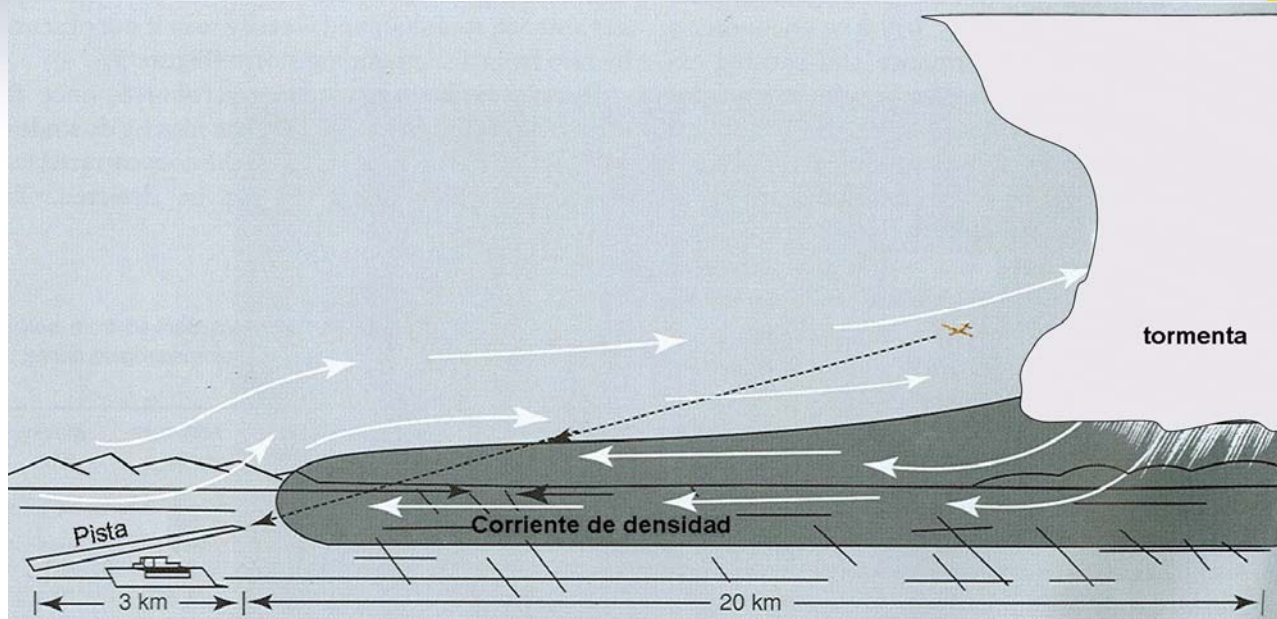


# Corrientes de densidad

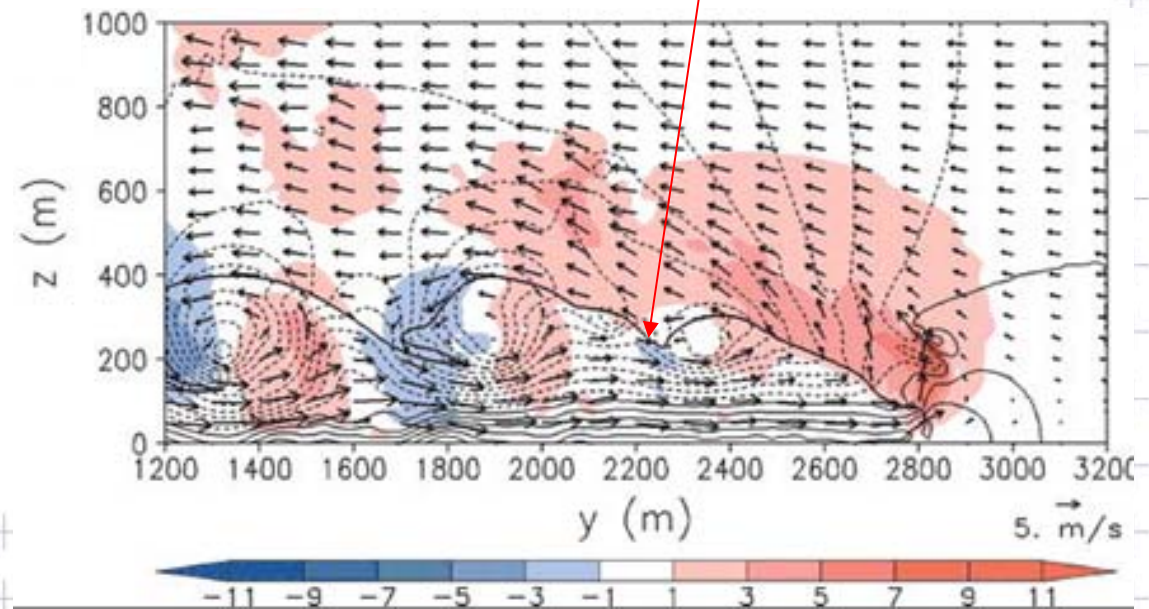
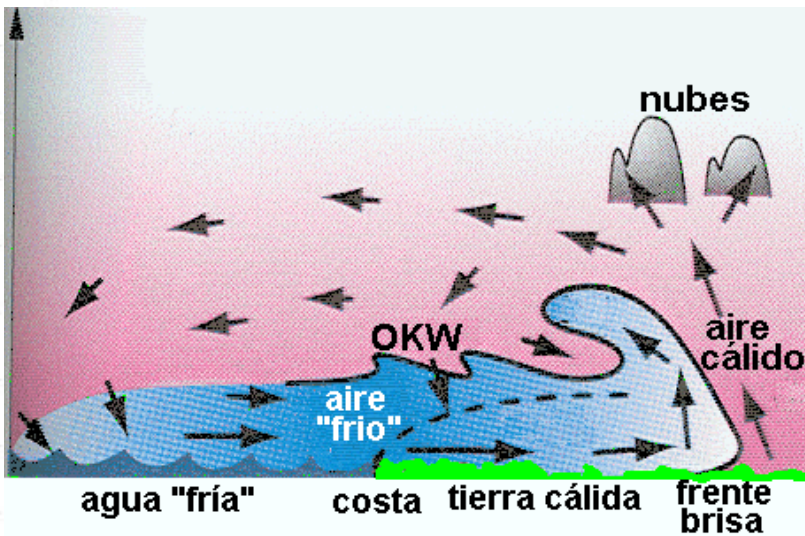


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



ondas de Kelvin-Hemholtz




Fin



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología



Fin  
Gracias por vuestra  
atención

*Fernando Bullón*