

## **“Storm-Splitting” con generación de dos posibles Mini-Supercélulas, “high topped”, simétricas. Madrid/Guadalajara 7-Septiembre-2004.**



Jose Antonio Quirantes Calvo (rayo)

Jose Antonio Quirantes Calvo (rayo)

e-mail: [jose.quirantes@inm.es](mailto:jose.quirantes@inm.es) y [josequirantes@yahoo.es](mailto:josequirantes@yahoo.es)

### **Introducción:**

El atardecer del 7 de Septiembre de 2004 fue un día histórico para los aficionados a la meteorología de la zona centro peninsular. Pasará a la memoria de los que tuvimos la suerte de presenciarlo como el día, quizás, en que conseguimos ver los Cumulonimbos más espectaculares de toda nuestra vida, o al menos de lo que llevamos visto hasta ahora, que para algunos ya es bastante. Téngase en cuenta que la memoria meteorológica es muy “vaga” y tiende pronto a olvidarse de acontecimientos pasados, por lo que se corre el peligro de considerar categóricamente que lo último que uno ha visto o ha vivido, ha sido “lo más frío”, “lo más caluroso”, “la mayor nevada” o como en este caso, “los Cb más bellos” de todo cuanto se recuerda. Olvidándose de otras épocas, algunas muy lejanas en la noche de los tiempos, en las que uno vivió situaciones semejantes o incluso más memorables. A pesar de ello, podemos afirmar con absoluta seguridad, que las nubes fueron majestuosas, prueba de ello fueron los numerosos tópicos que se abrieron esa tarde en el foro de Meteored, algunos con impronunciables títulos, mostrando la emoción, alegría y asombro de gran cantidad de aficionados que querían compartir con el resto de los compañeros tan espectacular vivencia. Tal a sido su repercusión posterior, que incluso las fotos ganadoras del V Encuentro de Aficionados a la Meteorología y las del I Concurso Nacional de Fotografía “Cazadores de Nubes” 2004 mostraron también esta tormenta, es más, en este último concurso fue la nube más fotografiada por los participantes.

Después de estudiar repetidas veces la sucedido aquella tarde, parece ser que se trató de la división rápida de una tormenta inicial (por derrumbamiento, o división en dos, de la corriente ascendente “updraft” en rotación, a causa del “peso” de la corriente descendente o “downdraft” y su cascada de precipitación asociada) en dos nuevas tormentas, totalmente simétricas la una a la otra, con unas características, tanto radar como visuales, que las hace catalogar de posibles Mini-Supercélulas de toques altos. Los americanos llaman a esta división “Storm Splitting”. Las condiciones sobre la zona mostraban una manifiesta cizalladura unidireccional del viento en toda la vertical de la atmósfera, que no favorecía el desarrollo dinámico de ninguno de los dos miembros (izquierdo o derecho) en particular, en el caso de una posible división (o “split”) como la que se formó. A pesar de ello, las dos nuevas células generadas mantuvieron una posible estructura supercelular durante algún tiempo hasta su disipación. Las dimensiones tanto espaciales como temporales conducen a clasificar las dos tormentas generadas como posibles Mini-Supercélulas, sin embargo, las dos células llegaron a los 14Km de altura, por lo que se salen de las dimensiones verticales habituales que se asigna a estas Supercélulas en miniatura, y que suele estar entre los 8 y 10 Km. de altura. Después de consultar más información sobre el tema, exclusiva de los trabajos realizados en los EEUU, parece que en el mundo de las SP las cosas no “blancas o negras” y que la variedad en la manifestación de estas increíbles estructuras convectivas, es más grande de la que en un principio se pensaba. En el caso concreto que nos afecta, se traduce en que también existen en los “papers” consultados las “High Topped Mini-Supercell” o Mini Supercélulas de toques altos, es decir Supercélulas muy pequeñas horizontalmente (entre 8 y 20 Km de semieje mayor) pero con toques relativamente elevados (entre 12 y 15Km), más semejantes a los de Supercélulas normales que a los de las Mini-Supercélulas y que tienen una vida media de entre 1 1/2 y 2 1/2 horas.

Hasta tanto no esté lista la Sección de Formación de SpainSevereWeather, iremos introduciendo en los reportajes de tiempo severo que se produzcan, los conceptos necesarios para entenderlos. Se repasarán, pues, en este trabajo las nociones de Cizalladura unidireccional del viento, Vorticidad horizontal y vertical, “Storm-Splitting”, Helicidad, Supercélulas ciclónicas y anticiclónicas, Mesociclón, Mini-Supercélula y Hodógrafa, que son necesarios de asimilar con el fin de ayudar a entender más fácilmente lo sucedido. Los que ya tengan dominio sobre el tema pueden saltarse esta parte, si así lo consideran oportuno. Se mostrarán mapas de las condiciones meteorológicas reinantes, los sondeos, los índices de estabilidad y las imágenes de satélite y radar. Estas últimas con el permiso del Instituto Nacional de Meteorología (INM), donde se aprecia con absoluta claridad todo el proceso del “Storm-Splitting”. También presentaremos una simulación numérica de este tipo de tormentas con el programa “The Convective Storm Matrix: Boyancy/Shear Dependencies” del Módulo COMET (Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training) . Para terminar, se muestra un amplio reportaje fotográfico realizado por el autor y por varios miembros del equipo SSW, así como por algunos participantes del foro de Meteored, algunas de ellas en su “persecución” por la R-2 hacia Guadalajara, con parada “obligada” a la altura de Azuqueca de Henares, donde el miembro derecho de la tormenta (el que en principio mostraba rotación ciclónica) presentó sus imágenes más espectaculares. Que lo disfrutéis !!!



Foto-1 Yunque masivo: Parte superior del miembro derecho (ciclónico). Desde Hortaleza (Madrid). 7-Septiembre-2004 a las 19:45h. Nikon D70/Nikkor 18-70 mm.

### Repaso de algunos conceptos importantes

El hecho diferencial que hace a las SP distintas de las demás tormentas, es que rotan verticalmente. Esa rotación es la causa de que sean tan "longevas", tan grandes en las tres dimensiones y de que, eventualmente, generen los tornados más intensos que se conocen o produzcan piedras de granizo de hasta 17cm. diámetro. El origen de esa rotación "vertical" es algo complejo, pero básicamente conocido, vamos a dar aquí unas nociones muy elementales. Se fundamenta en la existencia previa de unas capas de aire en los bajos niveles de la troposfera, entre 0 y 3Km, (normalmente por debajo de la base de la nube) que presentan rotación con eje horizontal (fig.1 y fig.2). La transformación de la rotación horizontal en rotación vertical la lleva a cabo la corriente ascendente ("updraft") de la tormenta, fig.3. Si ésta corriente es lo suficientemente intensa (inestabilidad) como para vencer la "oposición" a su movimiento que le crean estos "rodillos" horizontales, los inclina de tal manera que pasan a rotar verticalmente fig.4, 5 y 6.

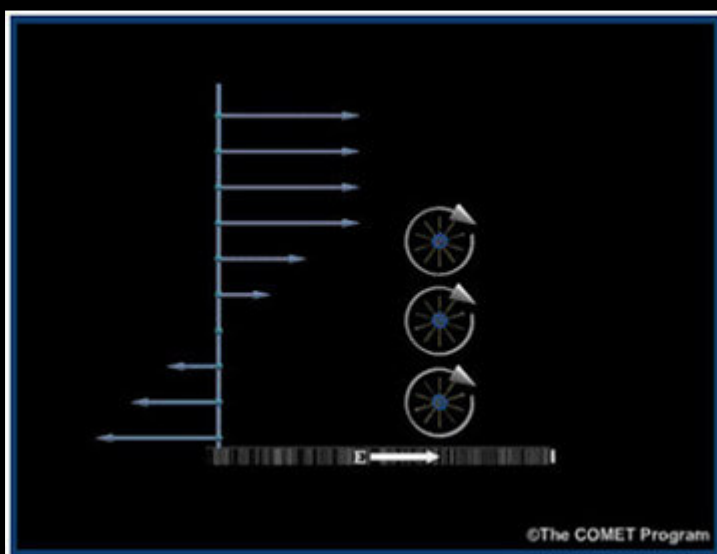


Fig. 1

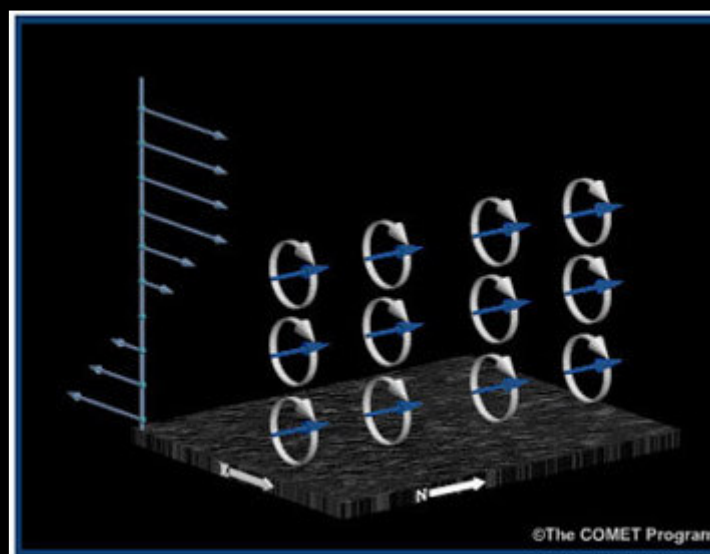


Fig. 2

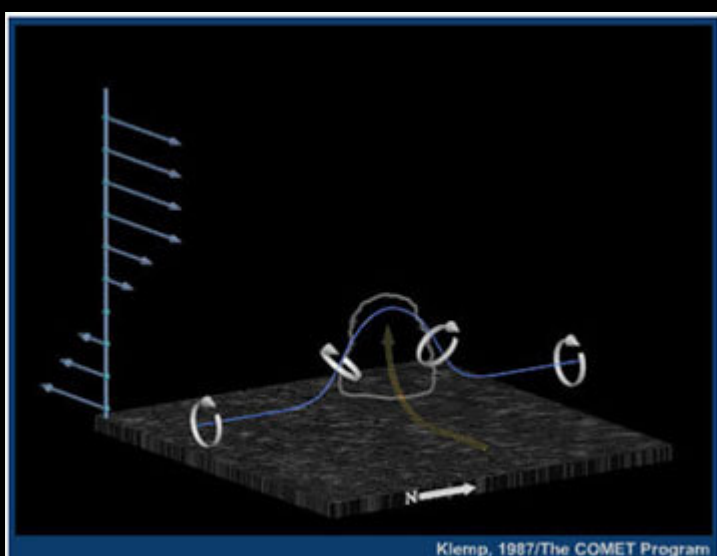


Fig. 3

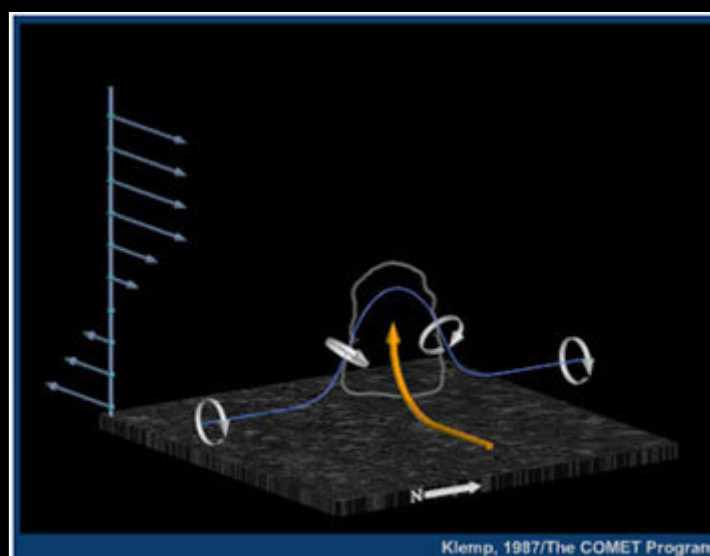


Fig. 4



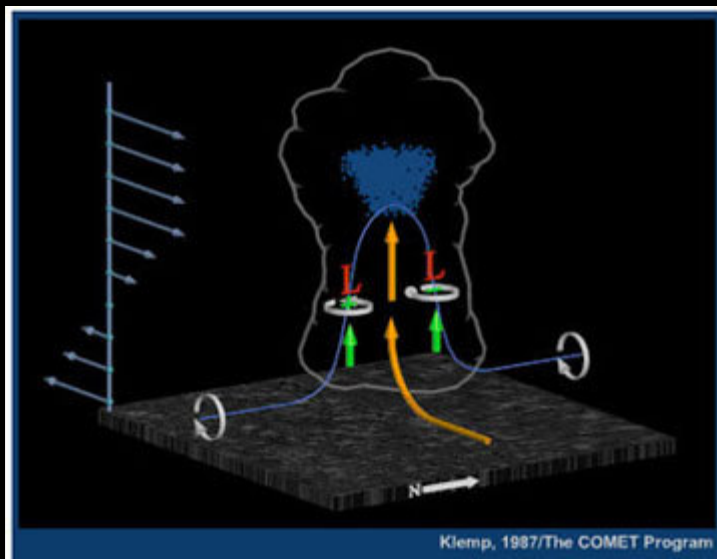


Fig. 5

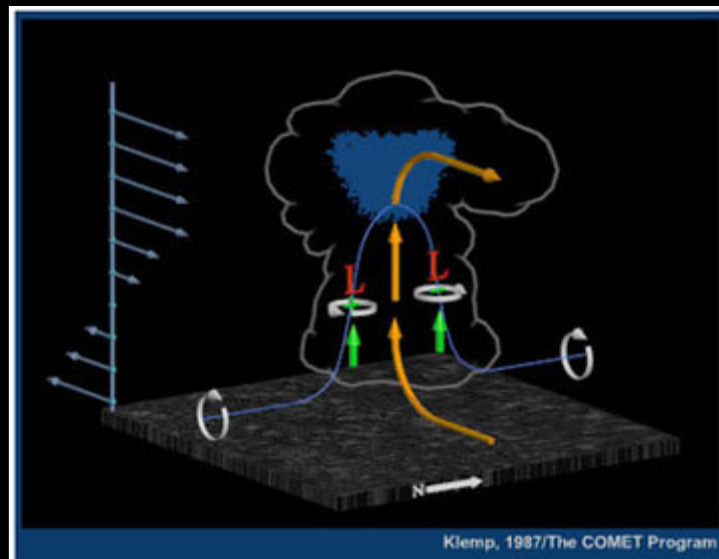


Fig. 6

¿Pero cuál es el origen de la rotación horizontal inicial de las figuras 1 y 2?. La respuesta se ve en estas figuras. Las flechas azules representan la fuerza y dirección del viento a diferentes niveles. En los niveles más bajos tenemos viento que va hacia la izquierda pero que decrece en intensidad con la altura, a partir de cierto punto se anula, cambia de dirección y aumenta en intensidad con la altura. Si tenemos viento que crece en intensidad según ascendemos, aunque se mantenga constante la dirección, es fácil entender que se genere rotación con eje horizontal. En la fig.7a podemos ver esto más fácilmente. Las flechas indicadoras del viento van aquí todas hacia la derecha, pero aumentando en intensidad según ascendemos. Si pusiésemos en medio una rueda con aspas como la aquí mostrada, ésta giraría en el sentido de las agujas del reloj, es decir que rotaría.

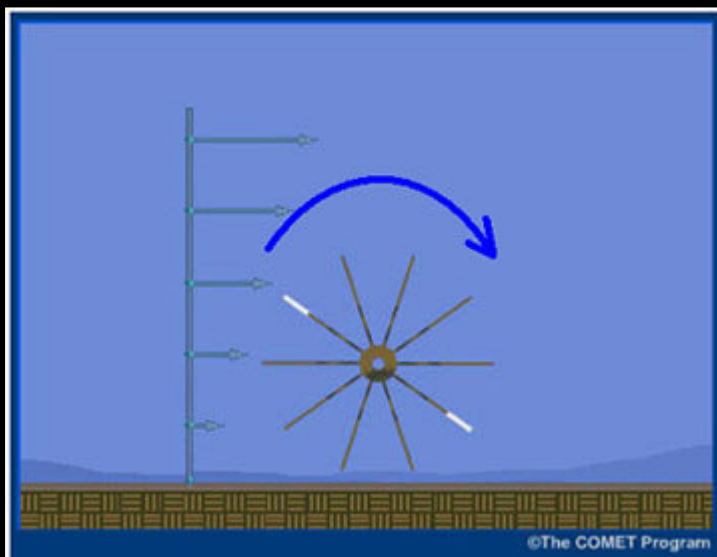


Fig. 7a



Fig. 7b

Por el contrario, si el viento fuese igual a todos los niveles, como muestra la figura 7b, la rotación no existiría o desaparecería. Las aspas de la rueda, en este caso, no se moverían. Llegados a este punto conviene ponerle nombre a todos estos conceptos. El aumento o cambio en la velocidad de viento con la altura se llama **Cizalladura ("shear" en inglés)**. La dirección del viento puede cambiar también con la altura o no. En las figuras 1 a 6 cambia una vez, es de derecha a izquierda hasta el punto donde se anula, y de izquierda a derecha de ahí para arriba. En las figuras 7a y 7b, es la misma en todos los niveles. Cuando la dirección del viento no cambia, básicamente, en toda la vertical considerada se dice que existe **Cizalladura Unidireccional**. La cizalladura unidireccional observada en las fig.1, 2 y 7a, produce rotación con eje horizontal, a esa rotación se le llama **Vorticidad Horizontal**. Una vez que la corriente ascendente se introduce en una zona donde existe cizalladura unidireccional del viento, aquella inclina ("tilting") los "rodillos" horizontales (fig. 3 y4) hasta enderezarlos completamente y ponerlos verticales (fig.5 y 6). Desde ese momento la tormenta rota, y a esa rotación vertical la llamamos **Vorticidad Vertical**.

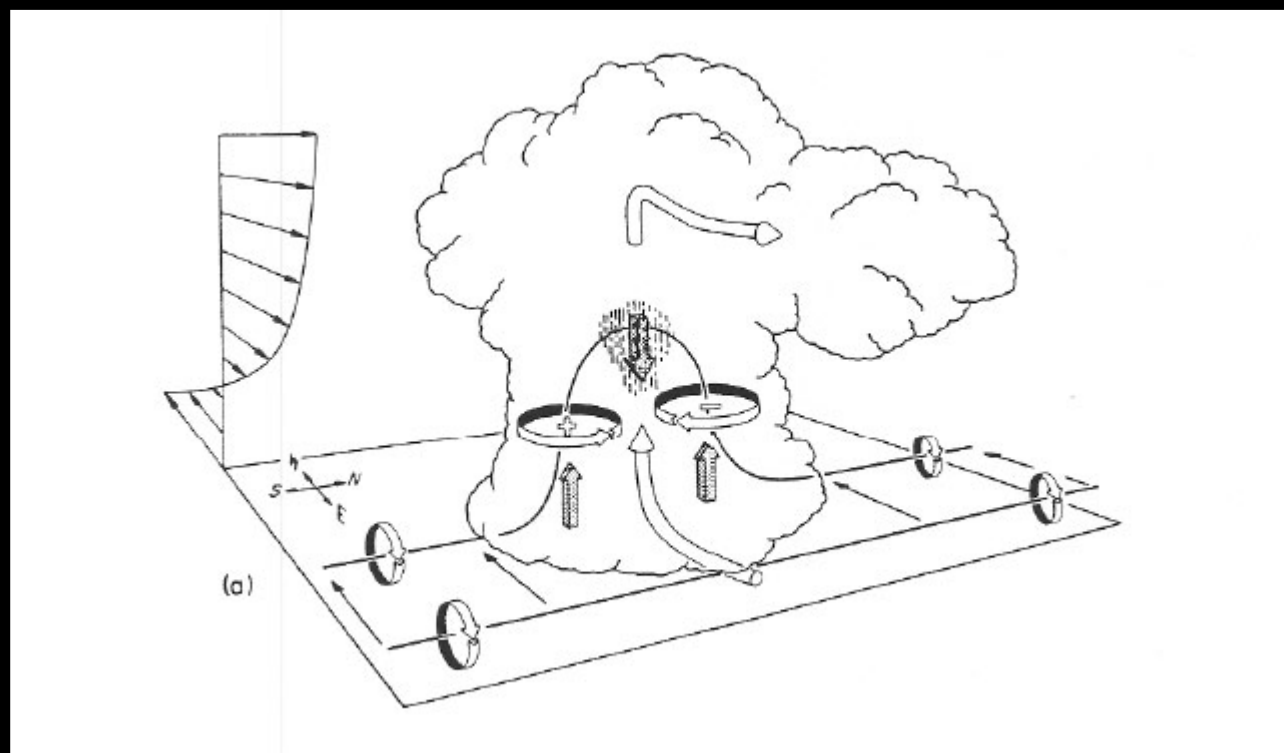
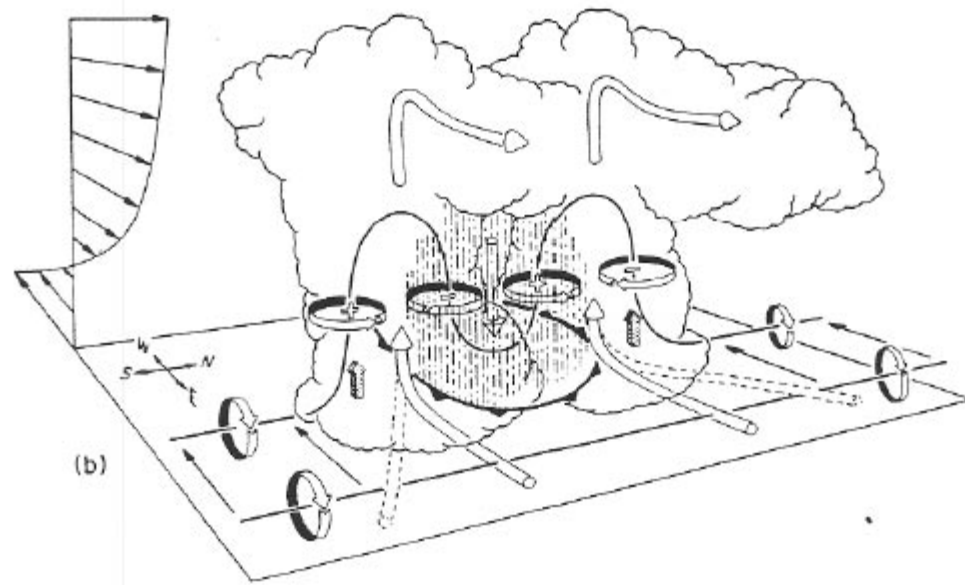


Fig. 8 Formación de un par de vórtices con giros opuestos por inclinación de la corriente ascendente. (Adaptada de Klemp and Weisman)

Como se puede observar en la figura 8, la "updraft" genera dos vórtices, uno gira ciclónicamente (el de nuestra izquierda) y el otro anti-ciclónicamente (el de la derecha). Cuando la corriente ascendente no puede soportar el peso de la precipitación que ha ido generando en su flanco superior, se forma una corriente descendente ("dowdraft"), que si se cumplen ciertas condiciones, cae sobre la misma corriente ascendente ("updraft") y la divide en dos partes, ver fig. 9. Podemos decir que en ese momento se ha producido el **Storm-Spitting**, quedando dividida la célula inicial en dos células simétricas, una con una corriente ascendente en el flanco derecho de la tormenta que presenta rotación ciclónica (a la izquierda en la figura) y otra con una corriente ascendente en el flanco izquierdo de la tormenta que presenta una rotación anticiclónica (a la derecha en la figura).



**Figure 3** Schematic depicting how a typical vortex tube contained within (westerly) environmental shear is deformed as it interacts with a convective cell (viewed from the southeast). Cylindrical arrows show the direction of cloud-relative airflow, and heavy solid lines represent vortex lines with the sense of rotation indicated by circular arrows. Shaded arrows represent the forcing influences that promote new updraft and downdraft growth. Vertical dashed lines denote regions of precipitation. (a) Initial stage: Vortex tube loops into the vertical as it is swept into the updraft. (b) Splitting stage: Downdraft forming between the splitting updraft cells tilts vortex tubes downward, producing two vortex pairs. The barbed line at the surface marks the boundary of the cold air spreading out beneath the storm. (Adapted from Rotunno 1981.)

fig. 9 (Figuras adaptadas de Klemp y Rotunno)

Sobre este punto, nos falta una aclaración más. Una de las principales características de las Supercélulas es el hecho de que la corriente ascendente y la corriente descendente (aquí marcada como FFD) estén claramente desacopladas, fig.10. Esa separación favorece la prolongación de la vida de la tormenta, ya que la corriente descendente con su arrastre de la precipitación, no "erosiona" a la corriente ascendente, y ésta puede seguir alimentándola por mucho más tiempo. Esto ocurre sobre todo si el aumento de la velocidad del viento con la altura (cizalladura) continua hasta los más altos niveles. Pero en el caso de un "Storm-Splitting" como el aquí estudiado, esto no ocurre exactamente así. Como se puede ver en el Sondeo de Madrid (Barajas) del 7-Sep-04 a las 12Z (fig.11), la cizalladura es evidente en los niveles bajos y medios-bajos, pero a partir de los 500mb, apenas existe, la velocidad del viento se mantiene constante en unos 40 nudos (80Km/h) hasta la tropopausa. Esto favoreció que se iniciara la división de la tormenta, sin que afectara a los niveles más bajos, y por tanto sin que se disipara de manera tan rápida.

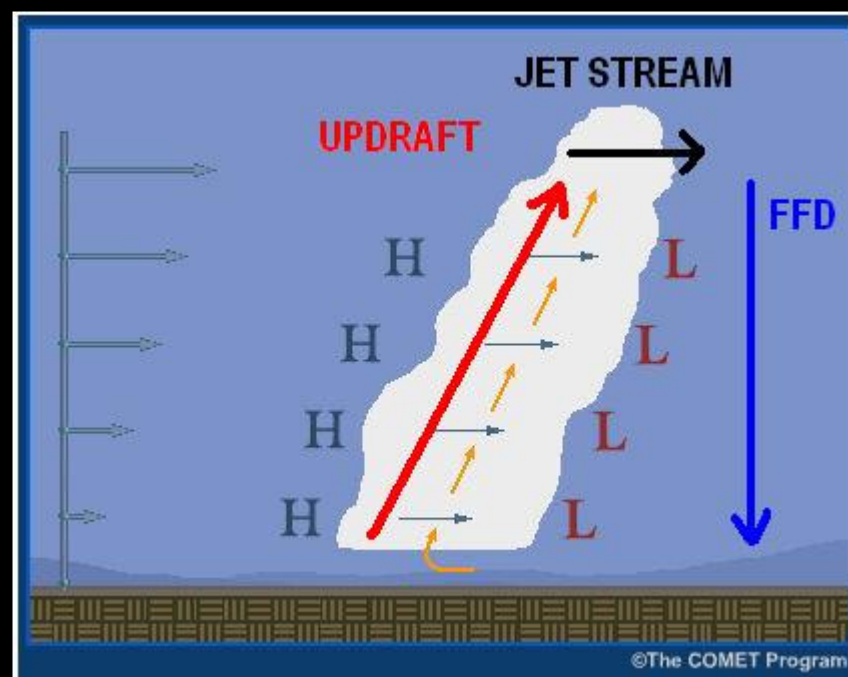
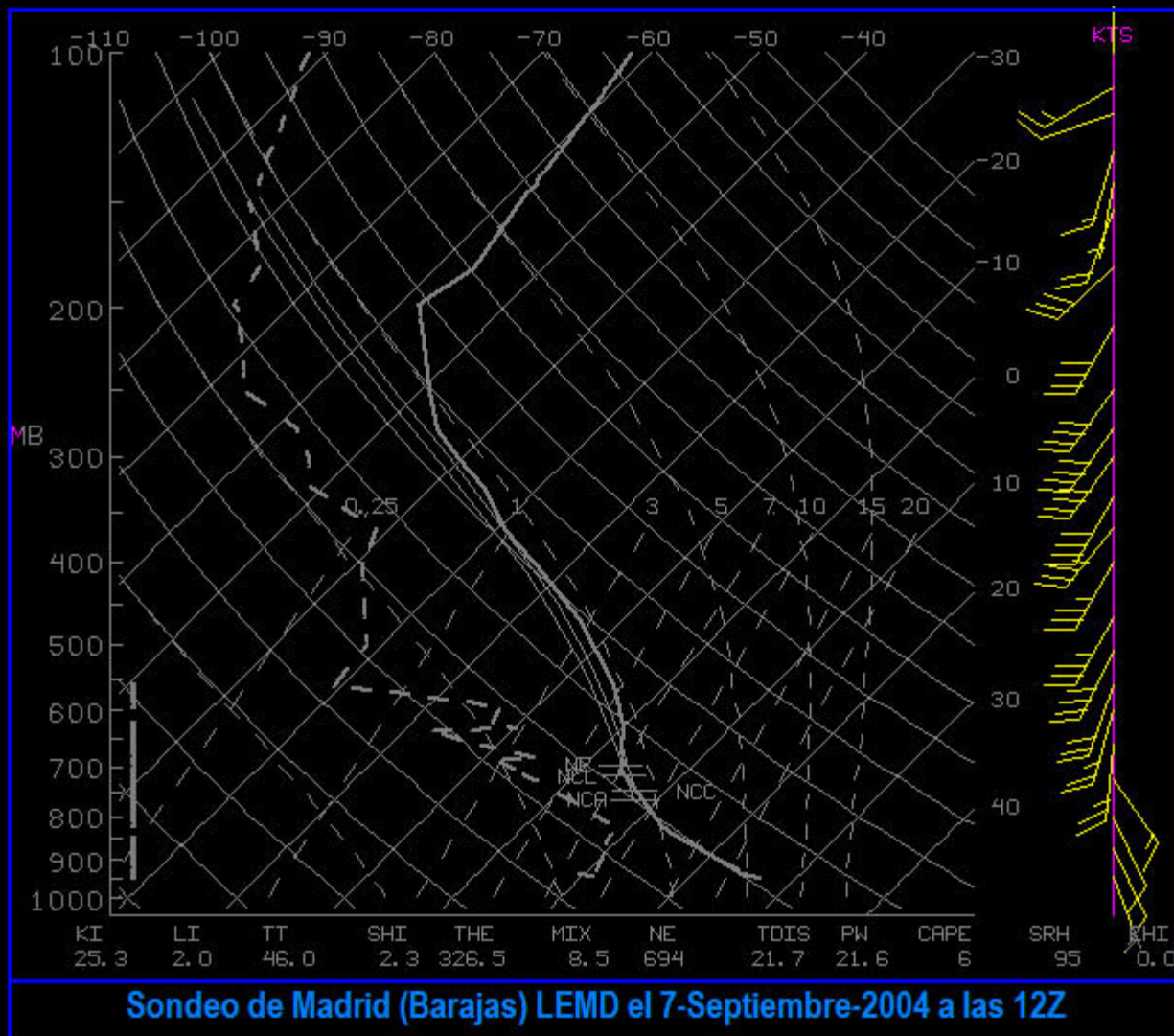


Fig. 10





Sondeo de Madrid (Barajas) LEMD el 7-Septiembre-2004 a las 12Z

fig. 11

En las siguientes figuras (12 a la 14), se han representado los tres principales casos de cizalladura vertical del viento: 1- cizalladura con giro del viento con la altura en el sentido de las agujas del reloj, 2- cizalladura con giro contrario a las agujas del reloj y 3- cizalladura unidireccional. En los dos primeros casos, además de aumentar la velocidad del viento con la altura, varía la dirección, aunque de diferente manera. En el tercer caso la dirección se mantiene constante en toda la capa. En las figuras 12c, 13c y 14c se muestran los miembros que tienden a formarse con más facilidad en cada caso. En las figuras 12a, 13a y 14a se han representado la distribución de la velocidad y dirección del viento para la capa de los primeros 2,5Km para los tres casos mencionados. En las figuras 12b, 13b y 14b se han representado las "barbas" de viento con sus direcciones y fuerzas sobre una circunferencia para apreciar mejor el mencionado giro. La dirección Norte estaría arriba, la sur abajo, la este a la derecha y la oeste a la izquierda. En el caso de cizalladura "clockwise", fig. 12b, el viento es del NE a 0m., del ENE a 500m., del SSE a 1000m., del SSW a 1500m., del WSW a 2000m. y del W a 2500m. Va variando de abajo a arriba, en el sentido de las agujas del reloj. En el caso de cizalladura "counterclockwise", fig. 13b, el viento varía al revés que en el caso anterior, es del NW a 0m., del WNW a 500m., del SW a 1000m., del SSE a 1500m., del SE a 2000m. y del E a 2500m. Va variando de abajo a arriba, en sentido contrario al giro de las agujas del reloj.

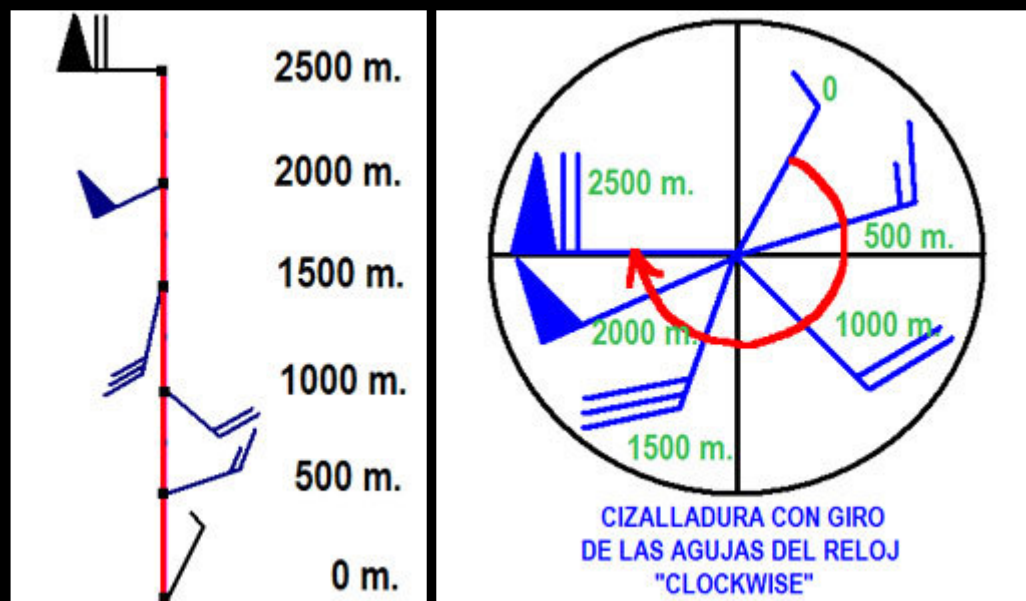


Fig. 12a y 12b. CIZALLADURA "CLOCKWISE"

### CASO DE CIZALLADURA "CLOCKWISE"

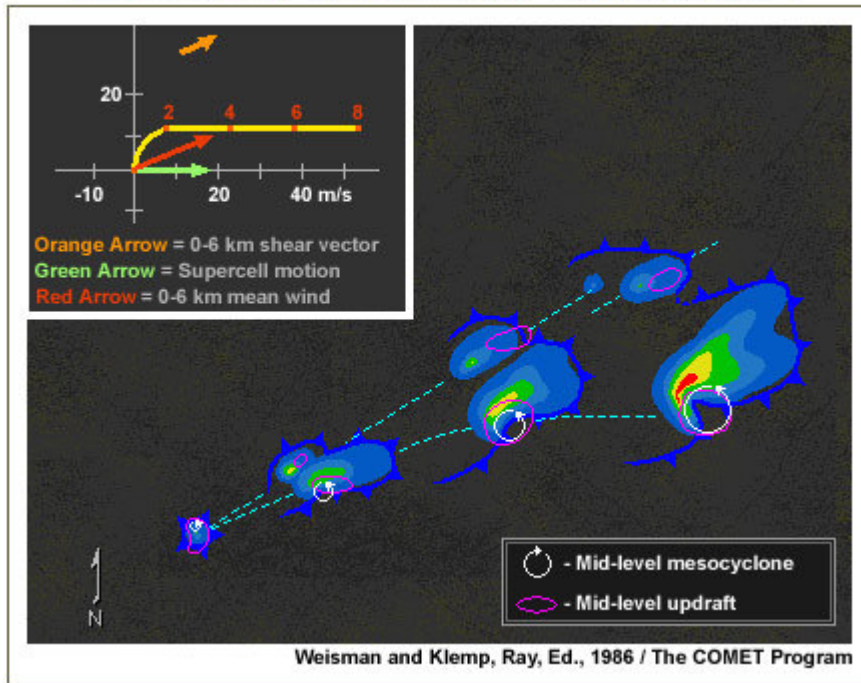


Fig. 12c. Desarrollo Miembro Ciclónico. (The COMET Program)

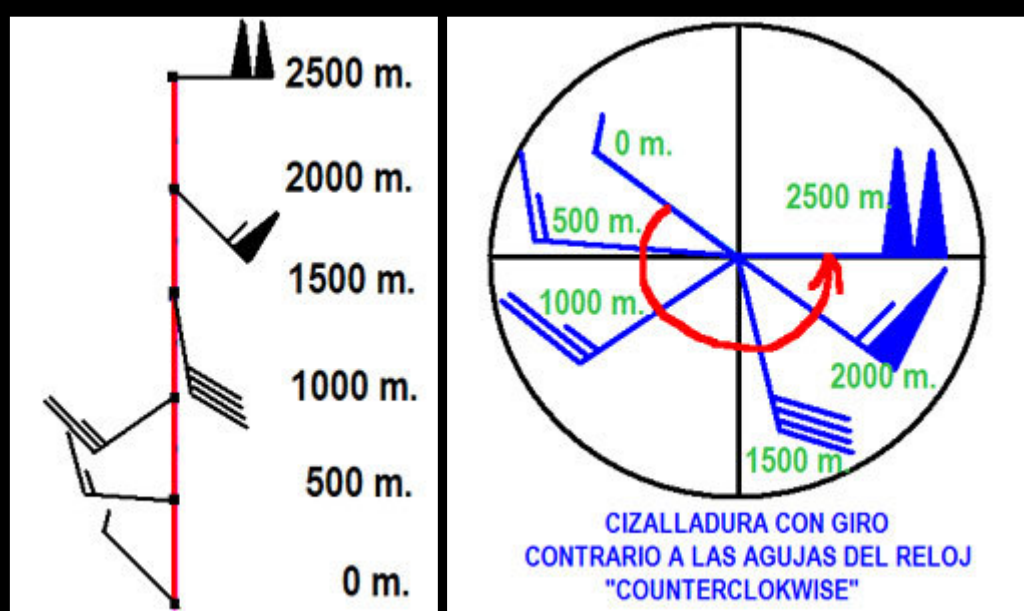


Fig. 13a y 13b. CIZALLADURA "COUNTERCLOCKWISE".

### CASO DE CIZALLADURA "COUNTERCLOCKWISE"

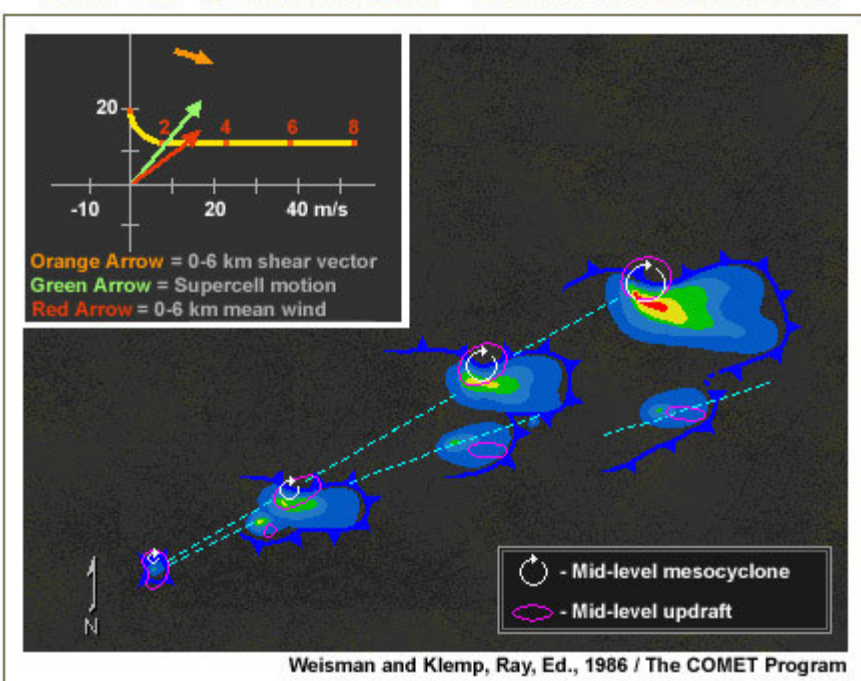
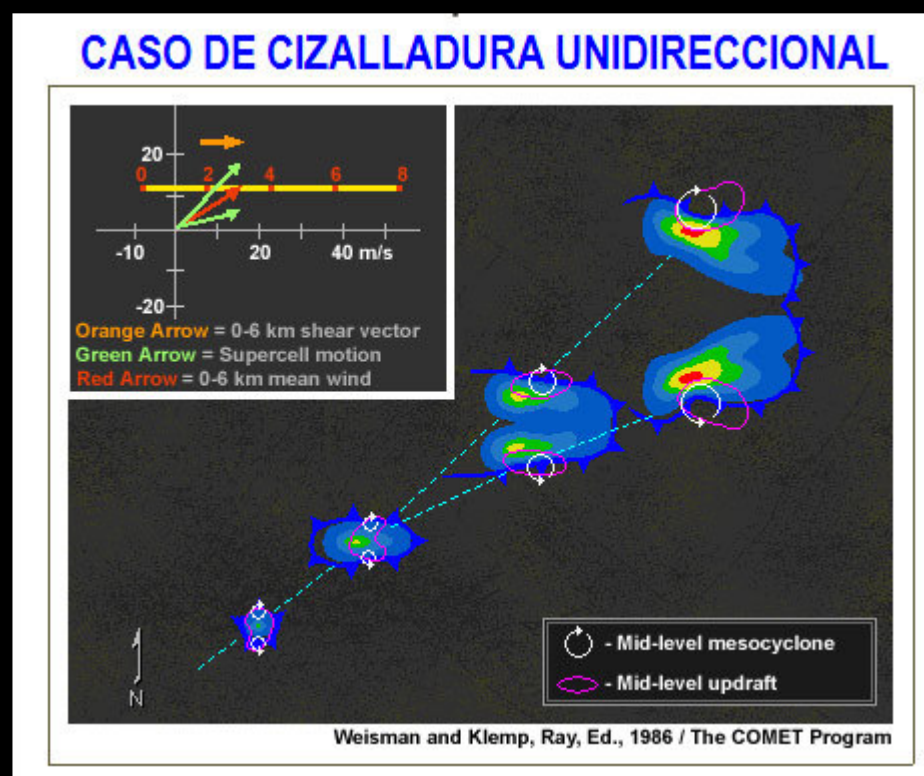
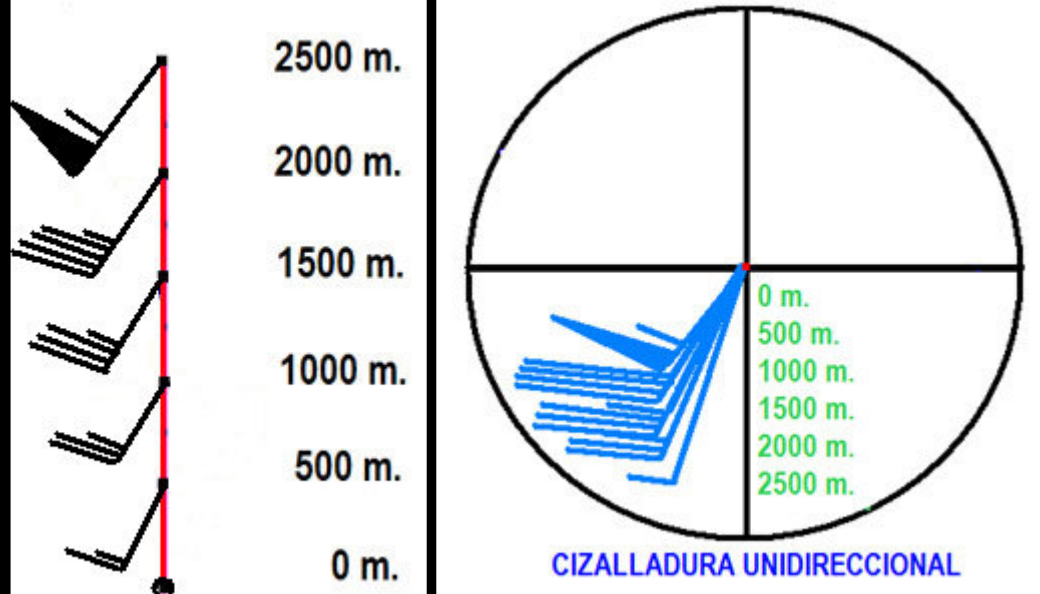


Fig. 13c. Desarrollo Miembro Anticiclónico. (The COMET Program)

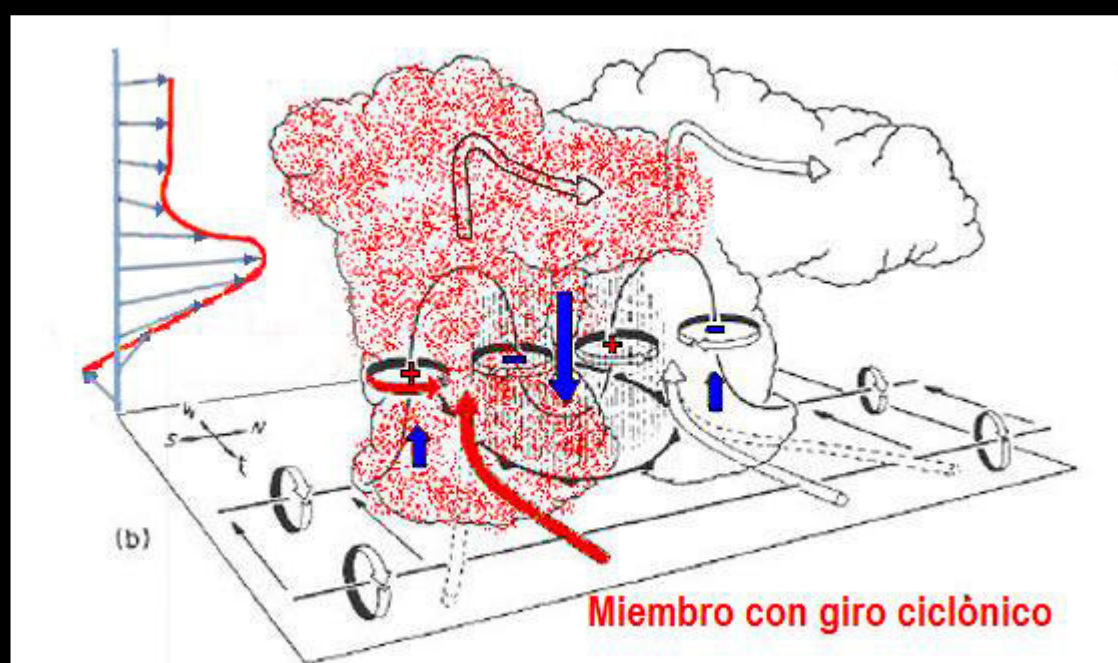




Este giro con la altura de la dirección del viento, a la vez que se incrementa su velocidad, implementa o induce sobre la corriente ascendente (que ha transformado la rotación horizontal en rotación vertical) un giro helicoidal en sentido ascendente. La medida o magnitud de ese giro se llama **Helicidad**. Si la helicidad se mide teniendo en cuenta la velocidad y dirección de la tormenta, y no desde un sistema de referencia fijo, se llama **Helicidad Relativa a la Tormenta (SRH)**, y es uno de los índices más importantes a la hora de pronosticar la posible aparición de Supercélulas. Son dos casos extremos, no siempre los giros son tan claros en la atmósfera real, ni tan opuestos. Pero sirven perfectamente para entender de qué estamos hablando. Por último, el tercer caso, fig 14b, muestra la misma dirección del viento a todos los niveles. Aunque las barbas están tan "apiñadas" que apenas se puede distinguir nada, queda patente este hecho en la figura 14a. Este último es el caso que nos interesa en este reportaje, el caso de **Cizalladura unidireccional** del viento.

¿Y para qué sirve todo esto que estamos explicando?. Un esfuerzo más, ya casi terminamos:

En el caso **1- Cizalladura "clockwise"**, el miembro que se ve favorecido en su posterior desarrollo, en caso de un posible Storm-Spitting, manteniendo su rotación, y por tanto prolongando la vida de la tormenta, es el de más a la derecha de la división (a la izquierda de la figura 15a), desapareciendo rápidamente el miembro de la izquierda (derecha en la figura), al disiparse la corriente ascendente en rotación anticiclónica. Esta Cizalladura vertical con giro en el sentido de las agujas del reloj, induce sobre la corriente ascendente, una rotación con sentido ciclónico. Resultado: se ha generado una **Supercélula Ciclónica**. A la corriente ascendente en rotación ciclónica se le llama Mesovortice ciclónico o **Mesociclón**. Se muestra en la figura 15b, las fuerzas de los gradientes de presión tanto verticales como horizontales que se generan en este caso y que favorecen la rotación iniciada. El efecto resultante de toda esta dinámica, es que cada nueva corriente ascendente que se genere, lo hará en el flanco derecho de la tormenta (izquierda en la foto), por lo que la tormenta se propagará desviándose a la derecha del flujo medio.



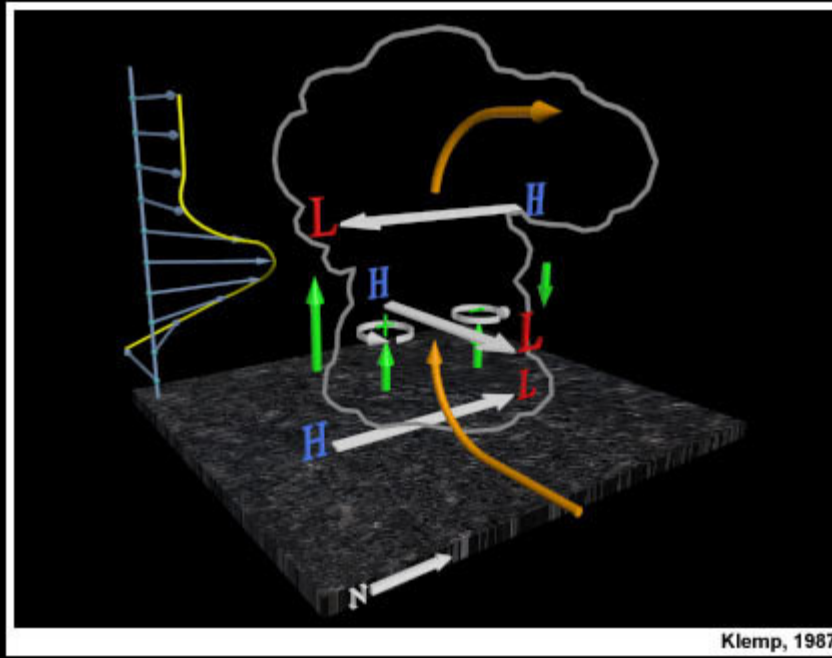


Fig. 15b. Las perturbaciones verticales y horizontales de presión originadas favorecen la rotación ciclónica

En el caso **2- Cizalladura "counterclockwise"**, el miembro que se ve favorecido en su posterior desarrollo, en caso de un posible Storm-Spitting, manteniendo su rotación, y por tanto prolongando la vida de la tormenta, es el de más a la izquierda de la división (a la derecha en la figura 16a), desapareciendo rápidamente el miembro de la derecha (izquierda en la figura), al disiparse la corriente ascendente en rotación ciclónica. Esta Cizalladura vertical con giro contrario a las agujas del reloj, induce sobre la corriente ascendente una rotación con sentido anti-ciclónico. Resultado: se ha generado una **Supercélula Anti-ciclónica**. A la corriente ascendente en rotación anticiclónica se le llama Mesovortice anti-ciclónico o **Mesoanticiclón**. Se muestra en la figura 16b, las fuerzas de los gradientes de presión que se generan en este caso y que favorecen la rotación iniciada. El efecto resultante de toda esta dinámica, es que cada nueva corriente ascendente que se genere, lo harán en el flanco izquierdo de la tormenta (izquierda en la foto), por lo que la tormenta se propagará desviándose a la izquierda del flujo medio.

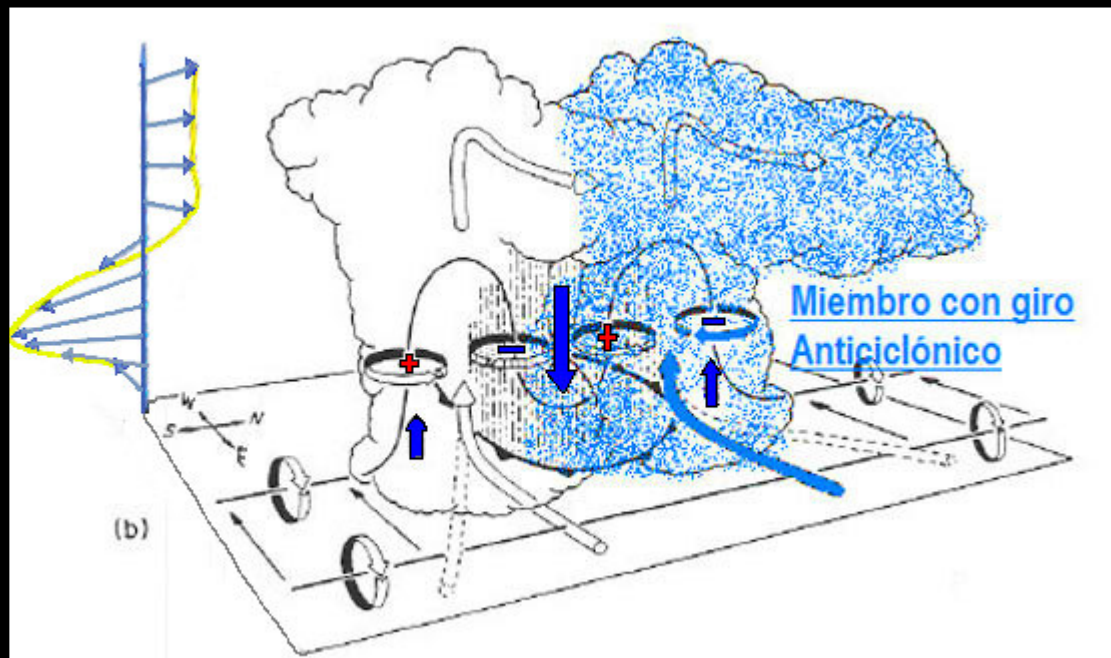


Fig. 16a El miembro Anti-ciclónico resaltado en azul

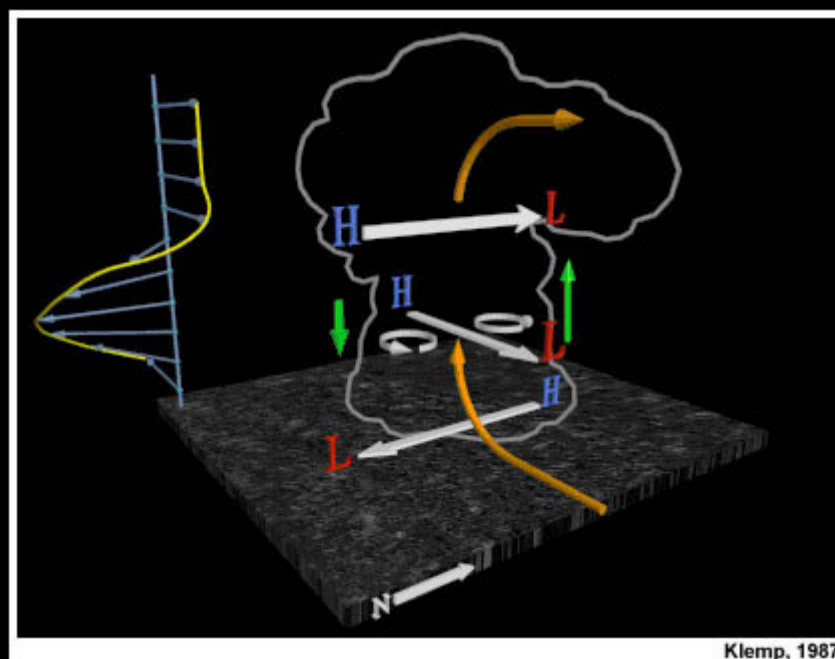


Fig. 16b Las perturbaciones verticales y horizontales de presión originadas favorecen la rotación anticiclónica

En el caso **3-Cizalladura unidireccional**, o "straight line" ninguno de los dos miembros se ve favorecido respecto al otro y progresan dos células simétricas como imágenes especulares la una de la otra. Se trata de dos Supercélulas, una presenta rotación ciclónica y la otra presenta rotación anticiclónica, pero las posibilidades de sobrevivir son menores que en los casos anteriores y su ciclo de vida suele ser más corto. En nuestro caso del 7-Sep-04, la cizalladura era básicamente unidireccional, aunque según los sondeos de las 12Z y 24Z de ese día, en las capas más bajas existía una ligera tendencia a la cizalladura "clockwise", ya que hasta los 2500m. de altura el viento es del SSE, virando a SW a partir de esa altura y manteniéndose constante, en toda la vertical, hasta los 14 Km. de altura.



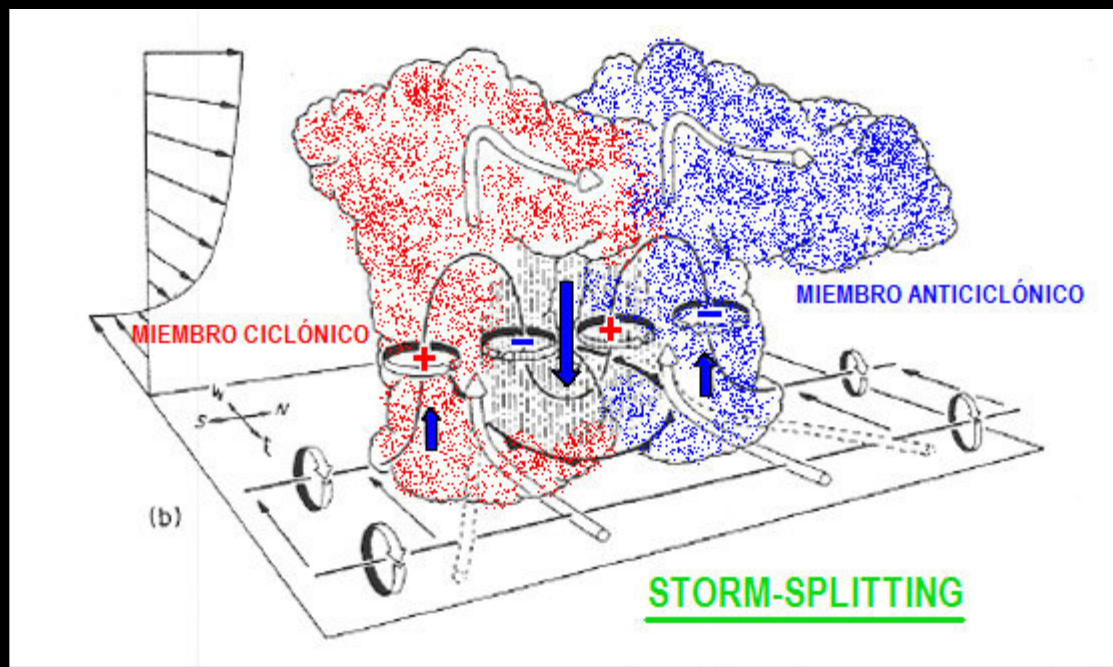


Fig. 17a Miembros Ciclónico y Anticiclónico evolucionan simultáneamente

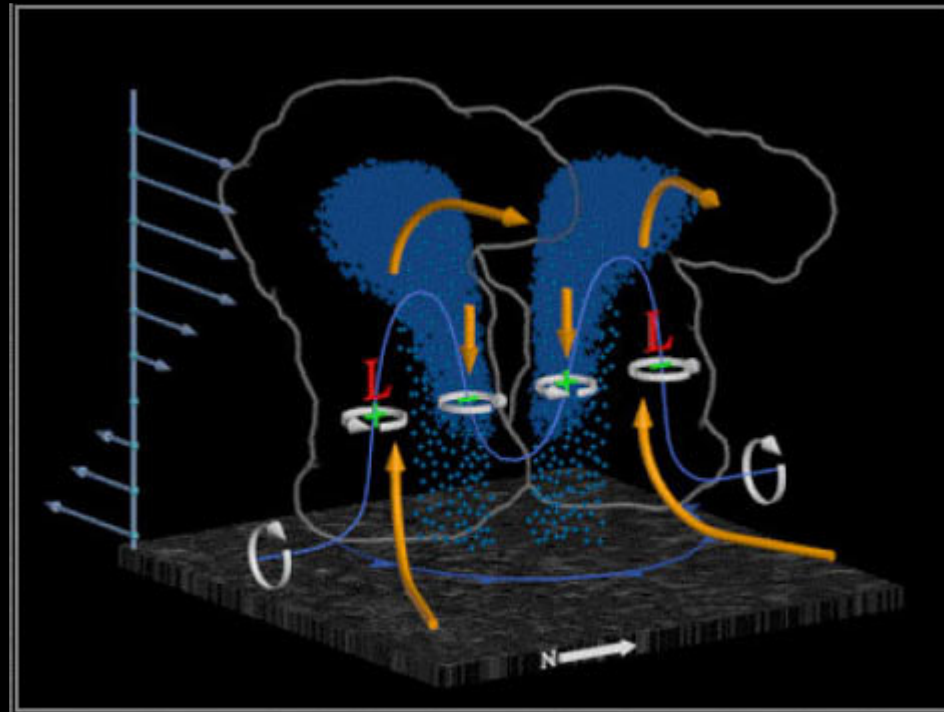


Fig. 17b. Disposición de las corrientes ascendentes y descendentes.

En la figura 18 resumimos todos estos conceptos mostrados hasta ahora, de una manera visual, sobre una de las fotografías del "Storm Splitting" que estamos analizando. El resultado es bastante diferente visualmente de lo que hemos visto más arriba, ya que en nuestro caso, las direcciones del viento no eran las mismas que en todas las figuras teóricas anteriores, ni tampoco el punto de vista. Si os fijáis bien, en dichas figuras se observa un viento del Oeste a todos los niveles por encima de la capa baja (que es del Este), mientras que en nuestras fotos el viento es del SSW y del SW entre 2 y 14 Km., aunque en niveles bajos era del SSE. Así mismo, las fotografías están tomadas desde el Oeste del sistema y por supuesto desde el nivel del suelo, mientras que en las citadas figuras, el punto de vista es el de un teórico observador situado al Este SE del "Storm Splitting" y desde una posición situada a la altura de los yunques de la tormenta.

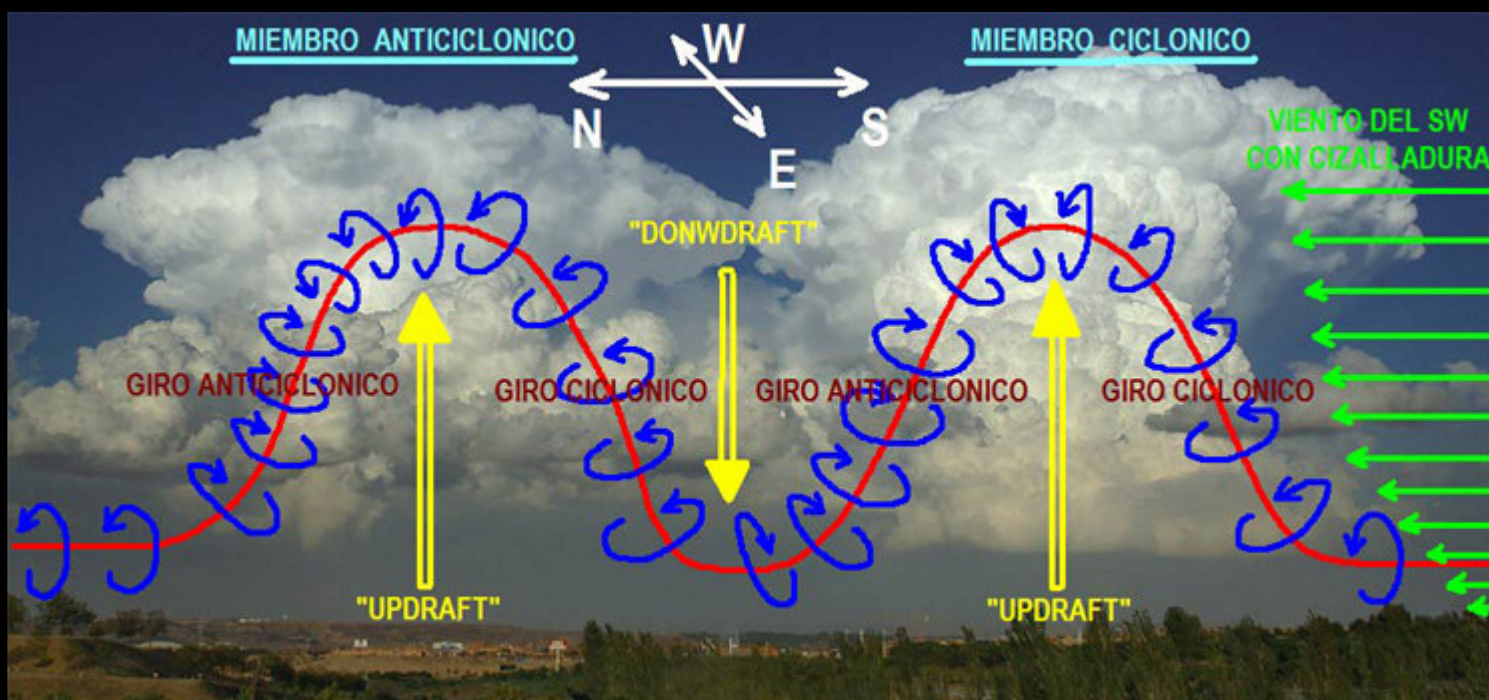


Fig. 18. Aplicando toda la teoría anterior a nuestro "Storm Splitting" del 7-Sep-04.

Para los que queráis saber más sobre "Storm Splitting", y de primera mano, incluimos un abstract de un "paper" original en inglés sobre este tema, la referencia completa del trabajo, así como otras de igual interés la tenéis al final del trabajo. ("The Severe Weather Event of 18-June-97: An Example of Spitting Supercells").



## The Theory Behind Splitting Supercells

Forecasters have known for some time that supercells tend to be deviant movers, that is, they generally move in a direction other than along the mean shear vector (surface - 6 km depth). In the Northern Hemisphere, supercells tend to move to the right of the mean shear vector, and tend to move slower than the magnitude of the vector would suggest. Numerical work by Wilhelmson and Klemp (1978), Klemp and Wilhelmson (1978), and Weisman and Klemp (1982) have helped forecasters understand the dependence of supercells on vertical wind shear and buoyancy. Their results suggest a spectrum of storm types ranging from short-lived single cells, through multicellular thunderstorms, to the longer-lived supercell. It was found that the environmental wind shear associated with the storm environment combined with the amount of buoyancy in the atmosphere determined the type of storms which will most likely occur. Of particular interest for this TA, is the concept of splitting supercells and what storm environment supports this type of phenomena.

Using one dimensional wind profiles, Klemp and Wilhelmson (1978) found that the tendency of an initial storm to split into two self-sustaining storms was strongly dependent on the intensity and distribution of the low-level wind shear. When the hodograph is more or less a straight line, the most likely development due to this shear profile is splitting storms that form mirror images of one another. In this environment, neither of the pair is favored, so both storms tend to persist. When splitting occurs, a cyclonically rotating updraft propagates to the right of the mean wind, while an anticyclonically rotating one moves to the left. However, Klemp and Wilhelmson (1978) along with Weisman and Klemp (1982) suggest that when the lowest several kilometers of the hodograph are curved, one member of the split pair is favored over the other. This means that the favored one persists while the unfavored one dies out rapidly, if it even forms. It turns out that a clockwise turning of the hodograph favors the cyclonic, right-moving member of the split, while counterclockwise turning favors the anticyclonic, left-moving member (in the Northern Hemisphere). The sort of storm most typical, and which has been seen most often by forecasters, is a cyclonically-rotating, right-moving storm; this sort of storm becomes likely when the hodograph's lowest several kilometers are characterized by clockwise turning of the hodograph. In this situation, the left-mover never forms, or if it does, quickly dies away, leaving just the right-mover to continue. This hodograph curvature arises from both dynamical and frictional effects. In the Northern Hemisphere, the Ekman Spiral dictates that, because of frictional effects, the wind generally will veer with height through the boundary layer, creating a clock-wise turning of the lower atmosphere. This also favors right-moving supercells.

How the rotation develops in splitting cells has been widely debated. The most widely accepted theory was discussed by Wilhelmson and Klemp (1978). As shown in [Figure 2a](#), during the initial stages of updraft development, there is a tilting of the vorticity associated with the mean shear flow, which gives rise to a vortex pair straddling the updraft. Due to the updraft tilting this mean shear flow, there is cyclonic rotation on the southern flank of the storm and anticyclonic rotation on the northern flank (for a storm moving to the east). Waterloading in the updraft which creates a downdraft (Wilhelmson and Klemp 1978), along with forced ascent along the gust front (Brown 1992) and lifting of low-level air by the mid-level vortices along the storm's flanks through dynamical vertical pressure gradients (Rotunno and Klemp 1982) all act to split the original pair of vortices into two separate pairs ([Fig. 2b](#)). The lifting of low-level air by the mid-level vortices was found to be a significant contributor to storm splitting, and can even cause storm splitting without precipitation and the associated downdraft (Rotunno and Klemp 1982). This was verified by observations of splitting towers occurring without any observable precipitation by Bluestein et al. (1990). Thus, the right-moving storm has a cyclonically rotating updraft and an anticyclonically rotating downdraft, while the opposite is true for the left-mover. These new updrafts strengthen the vorticity further through stretching, which in turn enhances the dynamic vertical pressure gradients.

By this time, the downdraft of the original storm has produced a cool outflow boundary which is moving away from the thunderstorms. For the cyclonically-rotating right-moving storm, the downdraft is located along the rear and left flank, and outflow near the ground spreads out underneath the updraft, forcing continuous uplifting of the moist low-level inflow along the right flank (Klemp and Wilhelmson 1978). In this manner, the storm maintains its moisture source and tends to propagate to the right. Remember that storm movement is the sum of two contributions: advection and propagation. Thus, even though the advection term is along the mean shear vector, the propagation term is to the right of the storm. Therefore, the actual storm movement is to the right of the mean shear vector. For the anticyclonically-rotating left-moving system, the convergence would be along the left portion of the outflow boundary, creating a storm movement to the left of the mean shear vector. This deviant propagation alters the storm-relative helicity values and may encourage supercell development (Vasiloff et al. 1984).

If the low, middle, and upper-level winds lie along a one-directional shear line, i.e. a straight line hodograph, both right- and left-moving storms formed through splitting will have similar opportunities to establish a self-sustaining structure. However, in the real world, and especially in the western United States, topography and influences from nearby storms can modify the storm environment and cause one storm or another to be preferred, even with straight line hodographs. Curvature of the wind hodograph causes a relative enhancement of the downdraft associated with one of the storms, which in turn increases the gustfront-induced convergence beneath the storm. Thus, with a hodograph that turns clockwise with height, development of the right-moving storm is favored, while if it turns counterclockwise, the left-moving storm is favored.

Documentation of the most organized types of severe weather (splitting cells, supercells, bow echoes, etc.) remains somewhat limited across much of the western United States. However, the recent installation of WSR-88D's in many locations across the West is resulting in increasing documentation of such events. The following section will discuss the 18 June 1997 event, examining both the hodograph and the WSR-88D output. This case is an excellent example of splitting supercells which can occur in Western Region.



Foto-2. Zona central del Storm-Splitting, correspondiente a la corriente descendente ubicada entre los dos miembros. En un principio estaba ocupada por la cascada de precipitación, pero a las 17h 45' Z, hora de esta foto, estaba casi "despejada".



Como ya comentamos anteriormente las dos células generadas en el Storm-Splitting del día 7-Sep-04 parece que fueron dos Mini-Supercélulas de topos altos. Su tamaño en las imágenes radar, así lo indica. Tenían una longitud de oeste a este (semieje mayor) de unos 15-18 Km. por unos 5 a 7 Km. de ancho (semieje menor). Estas dimensiones horizontales corresponden a las de una Mini-Supercélula, también conocidas como "Low Topped Supercell" o "Mini-Supercell". La altura de los topos fue de unos 12 Km., aunque llegó puntualmente a los 14 Km. Sin embargo, estas dimensiones verticales corresponden más bien a las de una Supercélula Clásica. Su clasificación, es pues, atendiendo a la descripción de casos similares ocurridos en los EEUU, la de una "High Topped Mini-Supercell" o Mini-Supercélulas de topos altos. Las características de una Mini-Supercélula respecto a una Supercélula son básicamente las mismas, aunque con alguna matización. Poseen también en Mesociclón de niveles medios y/o bajos, pero su tamaño, evolución temporal y ciclo de vida son más "reducidos" que las de sus "hermanas mayores", las SP habituales. El diámetro de estos mini-mesociclones (o mini-mesoanticiclones), viene a estar comprendido entre 1 y 3 Km por termino medio, bastante más pequeños que los de las SP que está entre 5 y 8Km. Las velocidades rotaciones también son inferiores, aunque las posibilidades de producir tornados o tiempo severo son muy parecidas.

## **Marco Sinóptico**

El día 7 de Septiembre de 2004 la situación sinóptica era favorable para el desarrollo de la convección en gran parte de la Península. Existía una Baja térmica en superficie, con 1012mb. sobre el mismo centro peninsular. Un marcado flujo en capas bajas del SSE con alimentación húmeda en toda la mitad este. En altura, DANA sobre Oporto, induciendo vientos moderados del SW a casi todos los niveles medios y altos sobre toda la península y especialmente en su mitad norte. Ese día la temperatura máxima en Madrid y Guadalajara estuvo en torno a los 31°C a 32°C. La precipitación recogida en Guadalajara capital durante el episodio, la única de la que disponemos, fue de 4mm. todos ellos en forma de granizo, caídos en un intervalo de 15 minutos, alrededor de las 18Z. En Madrid capital y alrededores, no se recogió nada.

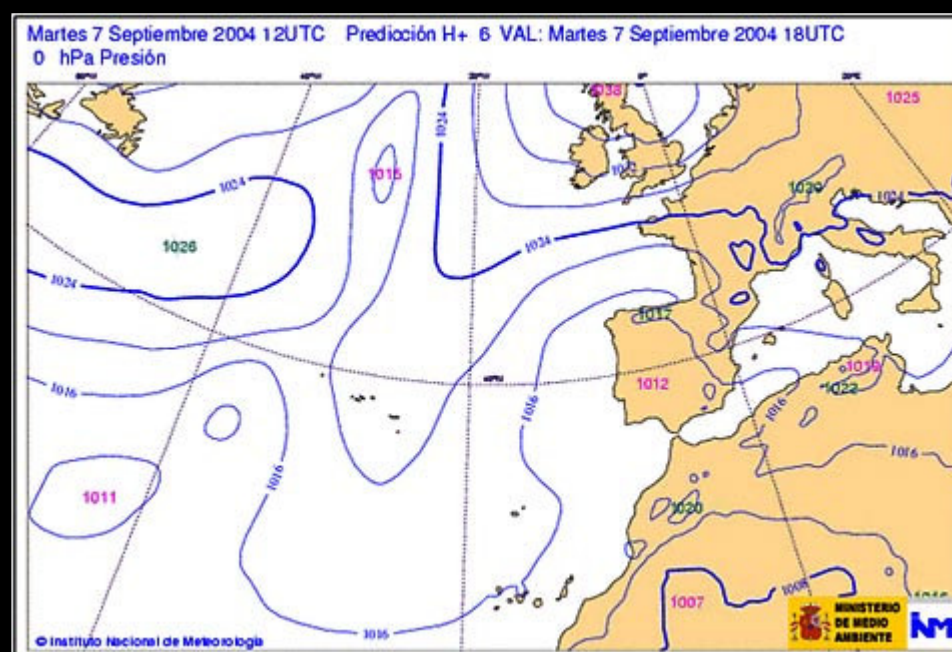


Fig.19a Presión en Superficie (PSL) 7-sep-04 a 18 UTC

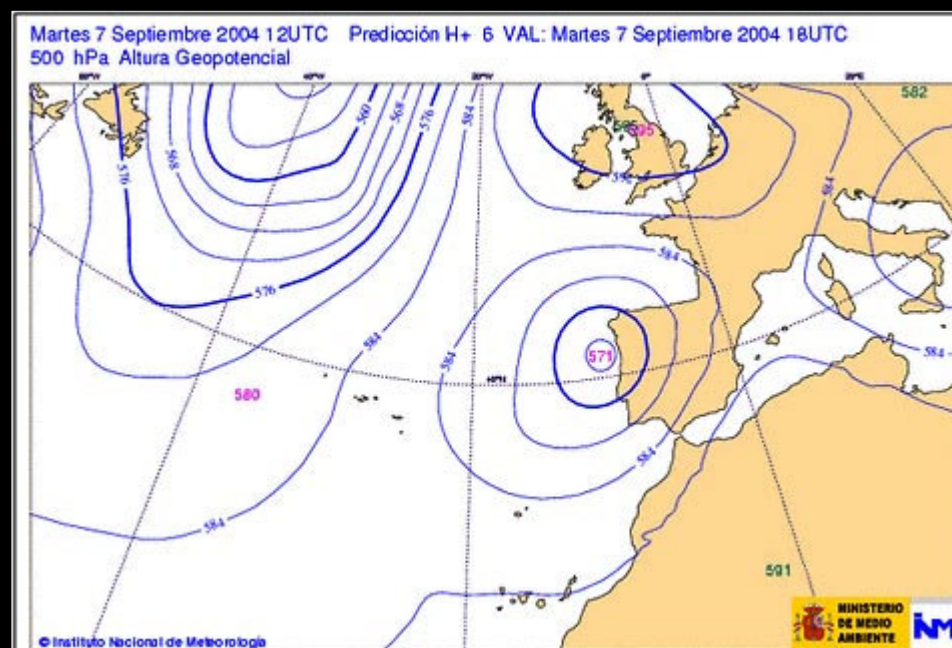


Fig.19b Geopotencial a 500mb, 7-sep-04 a 18 UTC

## **Sondeos e índices.**

Los dos sondeos mostrados, corresponden uno a las 00Z del día 8, unas 6 horas después del episodio, y el otro a las 12Z del día 7, unas 6 horas antes del episodio. Queda claro, en los dos casos, la existencia de Cizalladura unidireccional entre los 2500 metros y los 14 Km. de altura sobre la vertical de Madrid. Aunque, como ya comentamos anteriormente, entre el suelo y esos 2 o 3 Km. de altura, hay un giro del viento con la altura que favorece más el mantenimiento de un posible miembro ciclónico que el del anticiclónico. La inestabilidad es moderada, CAPE entre 500 y 1000, Índice Lifted entre -1 y -3, Índice Total de Totales entre 46 y 51. La Helicidad Relativa a la Tormenta (SRH) también es significativa, entre 100 y 300. Y el Número de Richardson Global (BRN) daba posibilidad de Supercélulas, sobre todo en el sondeo de las 00Z. Como puede observarse el sondeo de "después" es más favorable a desarrollos supercelulares que el de "antes de". Obsérvense los distintos índices que se suministran en los que la posibilidad de supercélulas e incluso de tornados era muy significativa.

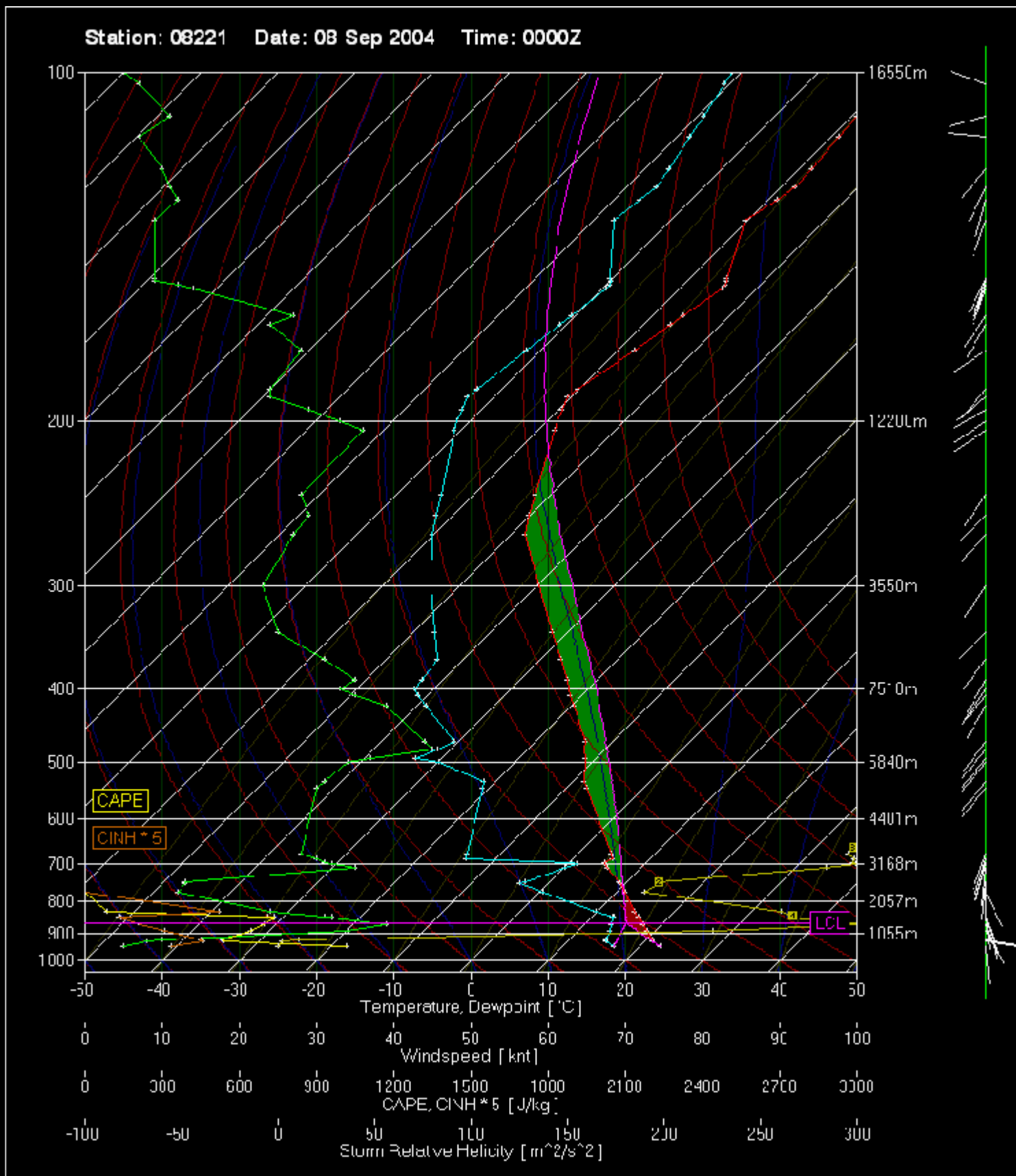


Fig. 20a Sondeo de Madrid-Barajas el 08-Septiembre-2004 a las 00Z.



<u>Parameter</u>	<u>Value</u>	<u>Unit</u>	<u>Comment</u>
850 Wet Bulb Theta-E:	20.22	[°C]	
Convective Temperature:	26.24	[°C]	
Snowfall Height:	3276.11	[m]	
<u>Parcel: Using Surface Values</u>			
Lifted Index:	-3.18	[°C]	Widespread Thunderstorms expected
CAPE:	1014.19	[J/kg]	Widespread Thunderstorms expected
CINH:	66.50	[J/kg]	
Normalized CAPE * 100:	10.86	[m/s <sup>2</sup> ]	
850-600 Lapse Rate:	18.33	[°C]	
Wet-Bulb Zero:	3277.28	[m]	
Fawbush-Miller Hail Size:	2.5 - 3.8	[cm]	
Exp. Hail Size:	4.5	[cm]	
LCL:	865.35	[mB]	
LFC:	764.77	[mB]	
EL:	213.85	[mB]	
<u>Misc Indices</u>			
Showalter Index:	-2.53	[°C]	Widespread Thunderstorms expected
Modified Thompson Index:	43.73	[°C]	Widespread Thunderstorms expected
Total Totals Index:	51.10	[°C]	Widespread Thunderstorms expected
KO Index:	-17.07	[1]	Widespread Thunderstorms expected
Craven SigSvr / 1000:	20.03	[m <sup>3</sup> /s <sup>3</sup> ]	Severe Thunderstorms expected
Supercell Composite Param:	6.03	[1]	Supercells expected
Significant Tornado Param:	2.21	[1]	Tornadoes possible
Exp. Supercell Index CH:	3.07	[J/kg * kt]	Supercells expected
CS Index:	12812.27	[J/kg * m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Widespread Thunderstorms expected
SWISS 00 Index:	5.48	[1]	No Thunderstorms expected (73%)
<u>Wind Parameters</u>			
Storm Direction:	229.22	[°]	
Storm Motion:	21.40	[knots]	
Wind Shear Dir Sfc - 3000:	207.56	[°]	
Wind Shear Sfc - 3000:	23.69	[knots]	
Wind Shear Dir 3000 - 6000:	238.69	[°]	
Wind Shear 3000 - 6000:	16.07	[knots]	
Wind Shear Dir Sfc - 6000:	220.07	[°]	
Wind Shear Sfc - 6000:	38.36	[knots]	
Bulk Richardson Number:	12.71	[1]	Supercells possible
Storm Relative Helicity:	298.14	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Supercells possible
Effective SRH:	298.14	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Supercells possible
Energy Helicity Index:	1.89	[1]	Supercells possible
<span style="color: red;">■</span> Temperature Profile <span style="color: cyan;">■</span> Dewpoint Profile <span style="color: green;">■</span> Windspeed Profile <span style="color: yellow;">■</span> Sfc-3km Storm Relative Helicity Profile			

Fig. 20b Indices del Sondeo de Madrid-Barajas el 08-Septiembre-2004 a las 00Z.

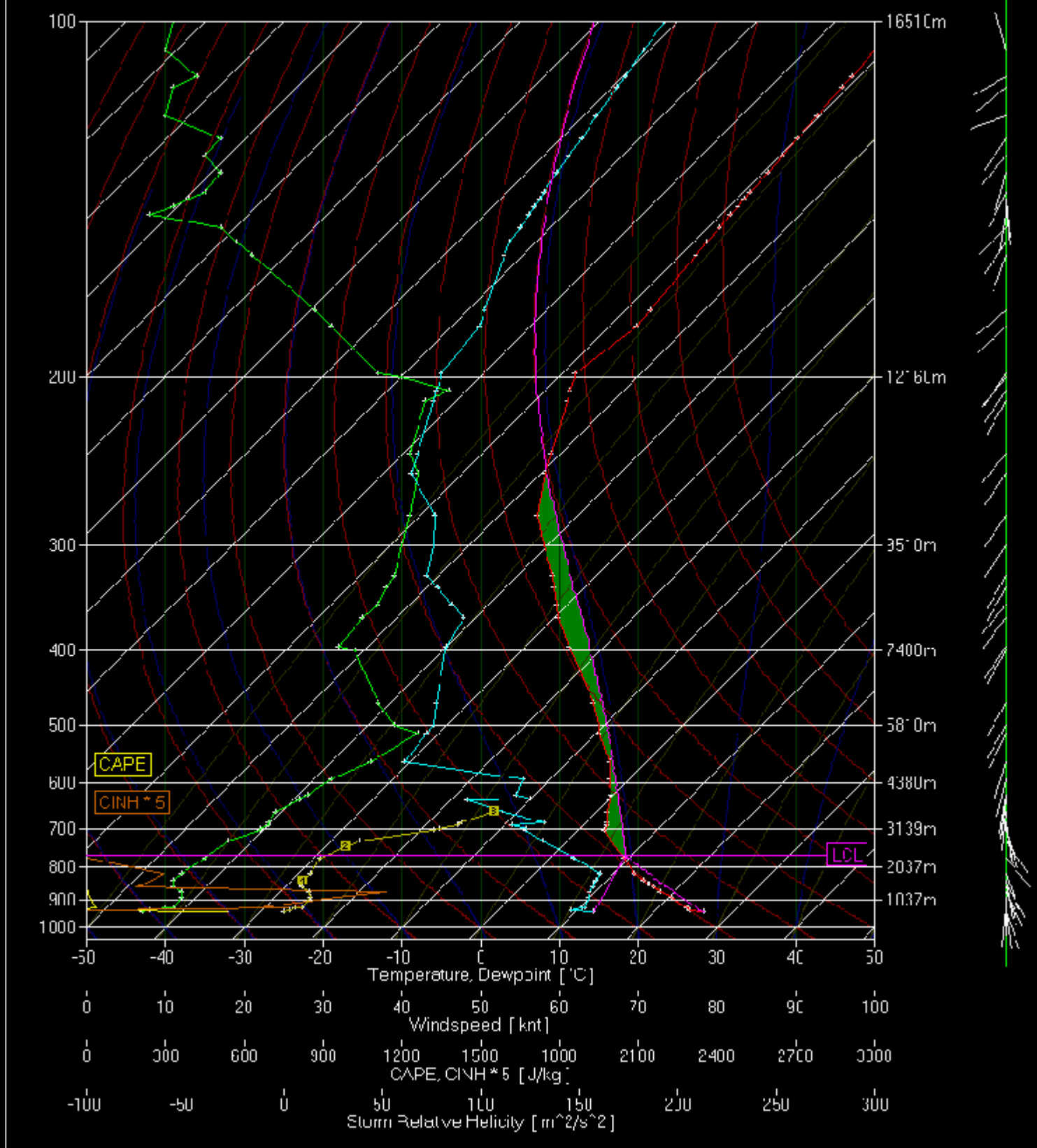


Fig. 21a Sondeo de Madrid-Barajas el 07-Septiembre-2004 a las 12Z.



<u>Parameter</u>	<u>Value</u>	<u>Unit</u>	<u>Comment</u>
850 Wet Bulb Theta-E:	17.88	[°C]	
Convective Temperature:	25.52	[°C]	
Snowfall Height:	2972.84	[m]	
<u>Parcel: Using Surface Values</u>			
Lifted Index:	-1.10	[°C]	Scattered Thunderstorms expected
CAPE:	533.43	[J/kg]	Scattered Thunderstorms expected
CINH:	0.00	[J/kg]	
Normalized CAPE * 100:	6.34	[m/s <sup>2</sup> ]	
850-600 Lapse Rate:	17.78	[°C]	
Wet-Bulb Zero:	2994.38	[m]	
Fawbush-Miller Hail Size:	0.6 - 1.3	[cm]	
Exp. Hail Size:	1.7	[cm]	
LCL:	768.07	[mB]	
LFC:	768.07	[mB]	
EL:	247.57	[mB]	
<u>Misc Indices</u>			
Showalter Index:	1.65	[°C]	Scattered Thunderstorms expected
Modified Thompson Index:	32.06	[°C]	Scattered Thunderstorms expected
Total Totals Index:	46.00	[°C]	No Thunderstorms expected
KO Index:	-18.47	[1]	Widespread Thunderstorms expected
Craven SigSvr / 1000:	8.83	[m <sup>3</sup> /s <sup>3</sup> ]	Severe Thunderstorms possible
Supercell Composite Param:	0.34	[1]	Supercells not likely
Significant Tornado Param:	0.01	[1]	Tornadoes not likely
Exp. Supercell Index CH:	0.67	[J/kg * kt]	Supercells not likely
CS Index:	3690.26	[J/kg * m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Scattered Thunderstorms expected
SWISS 12 Index:	-2.02	[1]	Thunderstorms expected (78%)
<u>Wind Parameters</u>			
Storm Direction:	219.87	[°]	
Storm Motion:	19.08	[knots]	
Wind Shear Dir Sfc - 3000:	194.57	[°]	
Wind Shear Sfc - 3000:	17.97	[knots]	
Wind Shear Dir 3000 - 6000:	245.17	[°]	
Wind Shear 3000 - 6000:	17.61	[knots]	
Wind Shear Dir Sfc - 6000:	219.60	[°]	
Wind Shear Sfc - 6000:	32.16	[knots]	
Bulk Richardson Number:	22.29	[1]	Multicells expected
Storm Relative Helicity:	106.48	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Supercells not likely
Effective SRH:	106.48	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Supercells not likely
Energy Helicity Index:	0.35	[1]	Supercells not likely
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> Temperature Profile</li> <li><span style="color: cyan;">■</span> Dewpoint Profile</li> <li><span style="color: green;">■</span> Windspeed Profile</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Sfc-3km Storm Relative Helicity Profile</li> </ul>			

Fig. 21b Indices del Sondeo de Madrid-Barajas el 07-Septiembre-2004 a las 12Z

### **Imágenes de satélite**

Lamentablemente no disponemos de imágenes Meteosat a la hora del episodio. En estas dos imágenes del canal visible del satélite "X", que corresponden a las 15h 51Z, es decir, una hora antes de los acontecimientos, se pueden apreciar desarrollos a lo largo de toda la cornisa cantábrica y en el Golfo de Valencia. Los primeros corresponden a la zona de máxima difluencia en altura generada por la DANA situada sobre el norte de Portugal. Los segundos, al disparo de la convección en la zona Mediterránea como consecuencia de la incidencia de vientos del este, cargados de humedad, acompañada del forzamiento dinámico que genera la Depresión Aislada en Niveles Altos. Entre ambas se adivina perfectamente una zona de convergencia (cielo completamente despejado al oeste de dicha línea) cruzando de SSE a NNW, desde Ciudad Real-Cuenca a Madrid-Guadalajara. Sobre esa zona, ampliada en la figura 23b se generaría posteriormente la célula que originaría el "Storm Splitting".

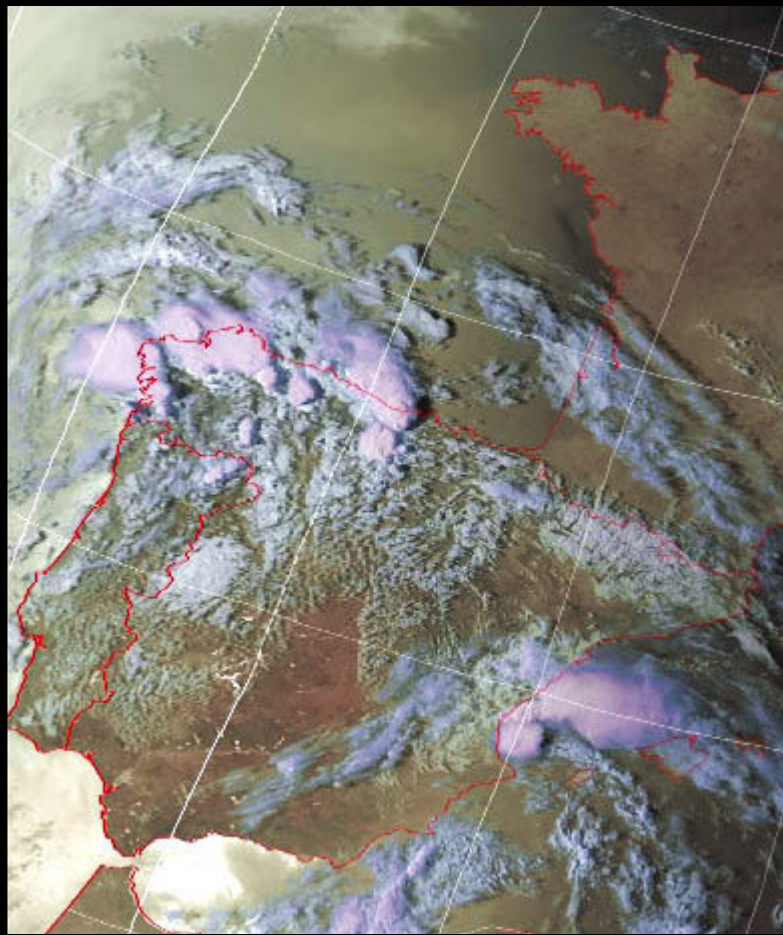


Fig. 23a



Fig. 23b

### **Imágenes radar**

Como se puede observar en los sondeos del día 7, la cizalladura es unidireccional entre los 2 y 14 Km. aprox., sin embargo en los dos primeros kilómetros el viento es del SSE, lo que refleja un ligero giro "clockwise" con la altura. Este hecho, a nuestro juicio, debería haber sido suficiente para haber favorecido desde el principio del "split" el desarrollo del miembro ciclónico, y aunque por los imágenes visuales así lo parece (véanse las fotografías, donde se constata un aspecto más brotado y "potente" de la célula ciclónica), examinando las imágenes radar esto no se confirma. La evolución de ambas células es prácticamente idéntica hasta el fin del episodio del "split", aproximadamente a las 19Z, unas 2 horas después de su inicio en las inmediaciones de Villar del Olmo (Madrid) y Mondéjar (Guadalajara). Además la intensidad máxima de las reflectividades registradas es muy similar en las dos células, unos 60 dBz, aunque se alcanzaran en momentos distintos. No obstante es muy importante resaltar el hecho de que cuando se disipó la célula anticiclónica, la ciclónica siguió activa, volviendo a reactivarse sobre la provincia de Soria, que cruzó de SW a NE, entre las 20h 20'Z y las 22h 20'Z (otras 2 horas más de vida). Siguió su desarrollo por La Rioja, perdiéndose en la cobertura del radar de Madrid a las 23h 20' Z, camino de los Pirineos Navarros. Es decir, que al menos, la célula ciclónica tuvo un ciclo de vida de 6 horas, frente a las 2 horas del ciclo de vida de la célula anticiclónica. Este hecho es coherente con la existencia de cierta cizalladura "clockwise" en la capa baja, suponiendo claro, que las condiciones de Madrid fueran similares a las del resto de las zonas que siguió la trayectoria de la tormenta.



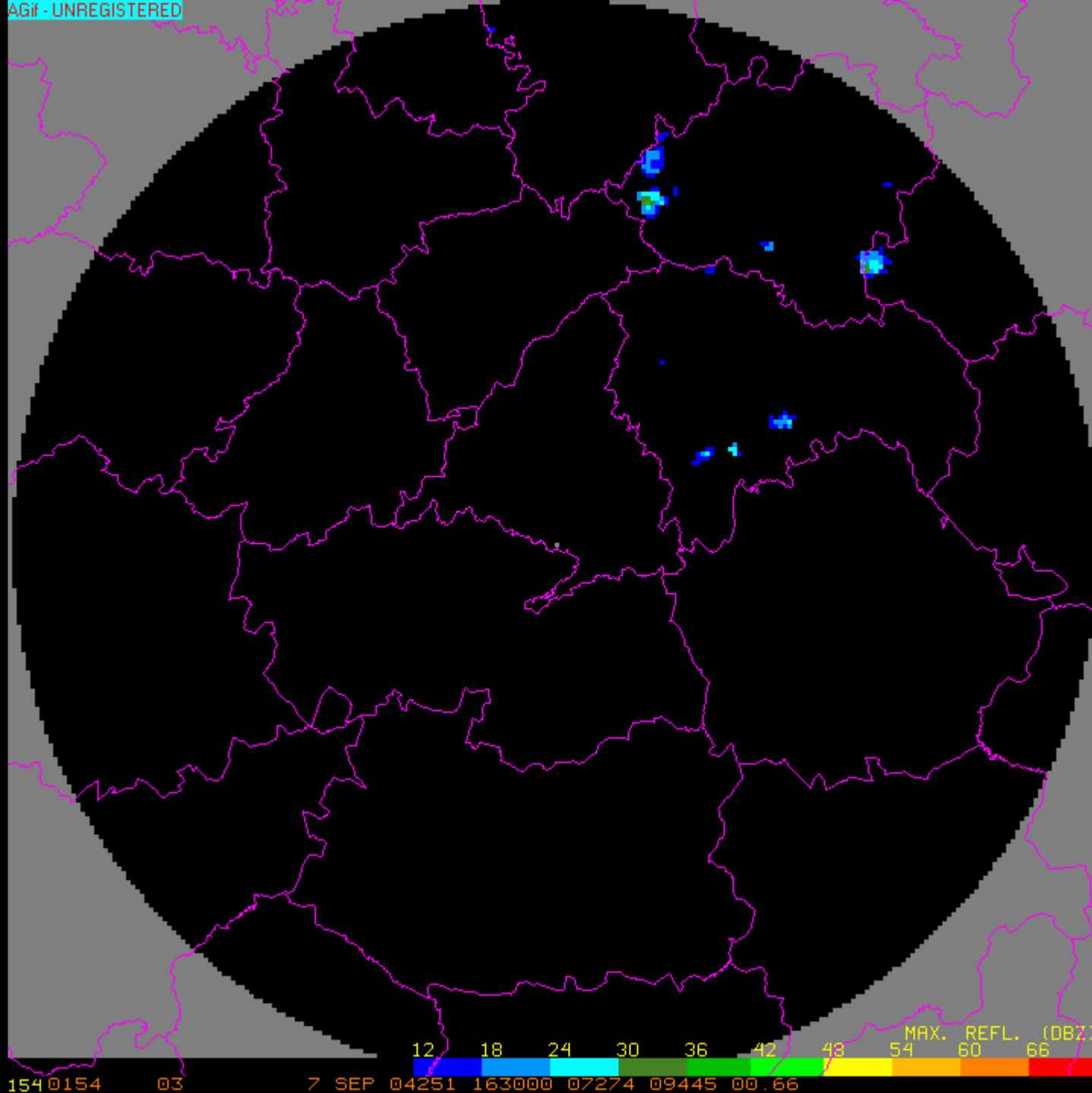


Fig. 24. Animación de imágenes Radar de Madrid (INM) entre las 16:30Z y las 23.30Z. © Instituto Nacional de Meteorología.

En las imágenes de viento Doppler del radar de Madrid del INM (no mostradas aquí) se puede adivinar, en varias de ellas, y en cada uno de los dos miembros, unos máximos de viento contrarios que podrían tratarse de un mini-mesociclón y un mini-mesoanticiclón correspondientes a cada una de las dos células respectivamente. Asociados a ellos se ven claramente unas zonas de eco débil de reflectividad (WER) y una clara estructura en gancho en casi todas las pasadas del radar. Dado que los mesociclones de las mini-supercélulas suelen tener un diámetro medio entre 1 y 3Km, y dado que la resolución del radar en modo Doppler es de 1 Km., es muy difícil confirmar con absoluta seguridad que las estructuras de vientos máximos observadas corresponden a los mencionados meso-vortices (ciclónico y anticiclónico), aunque a nuestro juicio es lo más seguro.

SECUENCIA RADAR COMPLETA DEL "STORM SPITTING"

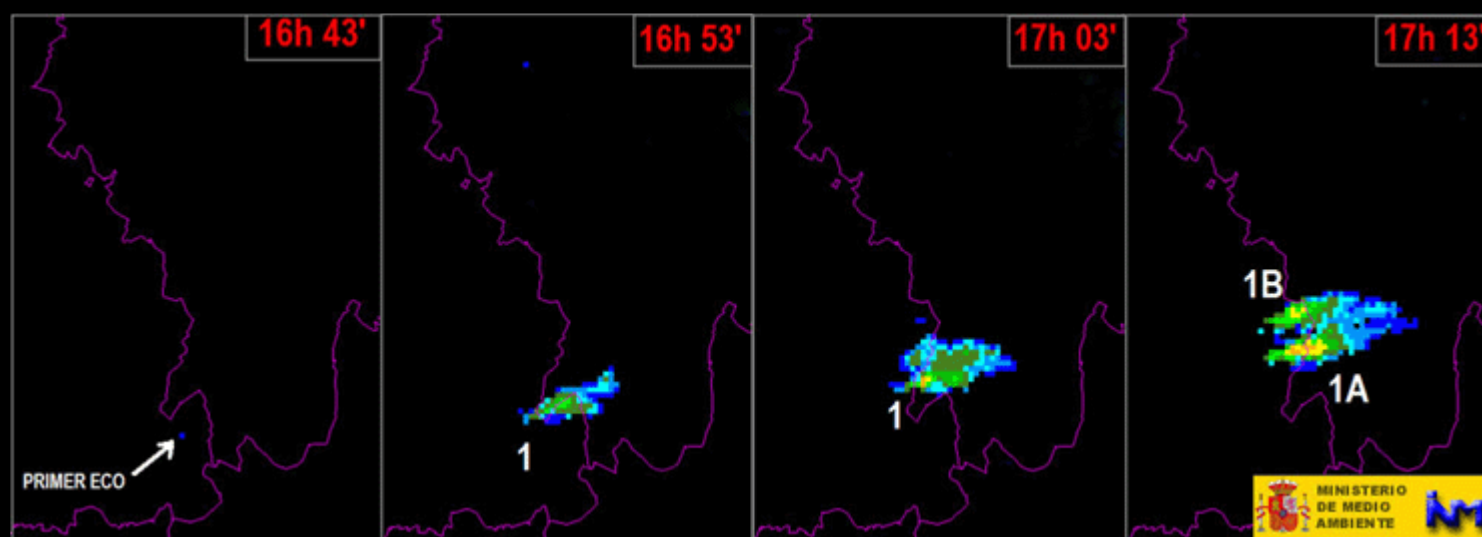


Fig.25. Entre 16h 43'Z y 17h 13'Z. Reflectividad, radar de Madrid. © Propiedad Instituto Nacional de Meteorología.

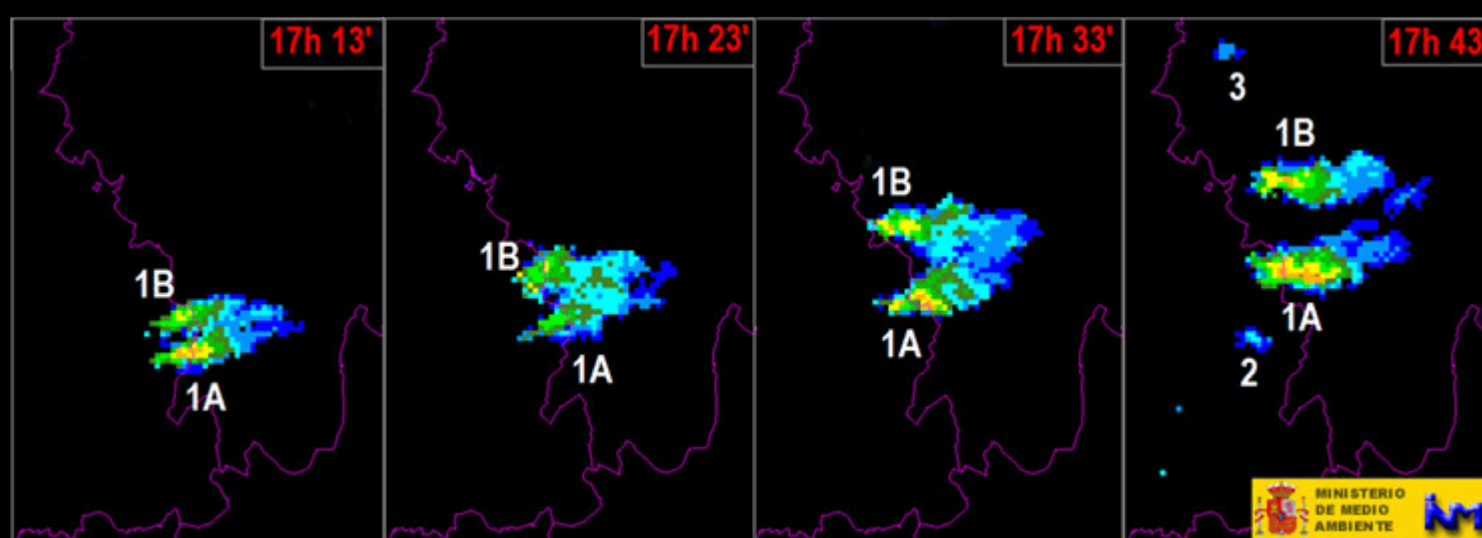


Fig.26. Entre 17h 13' Z y 17h 43' Z. Reflectividad, radar de Madrid. © Propiedad Instituto Nacional de Meteorología.

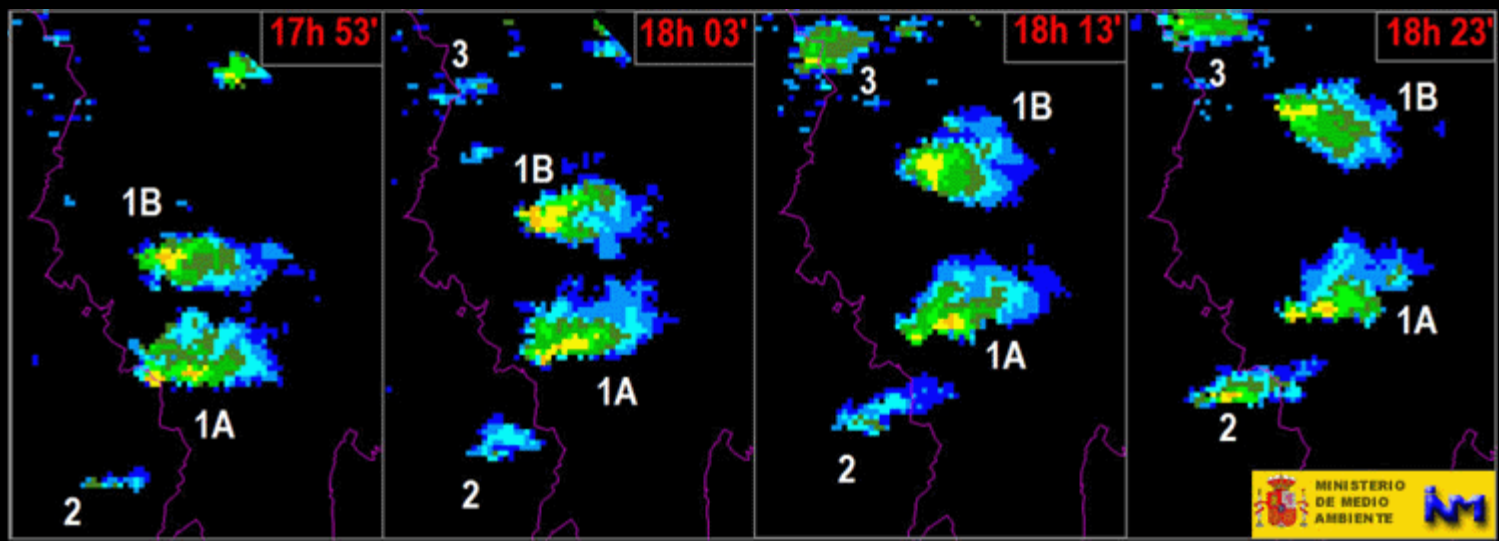


Fig.27. Entre 17h 53' Z y 18h 23' Z. Reflectividad, radar de Madrid. © Propiedad Instituto Nacional de Meteorología.

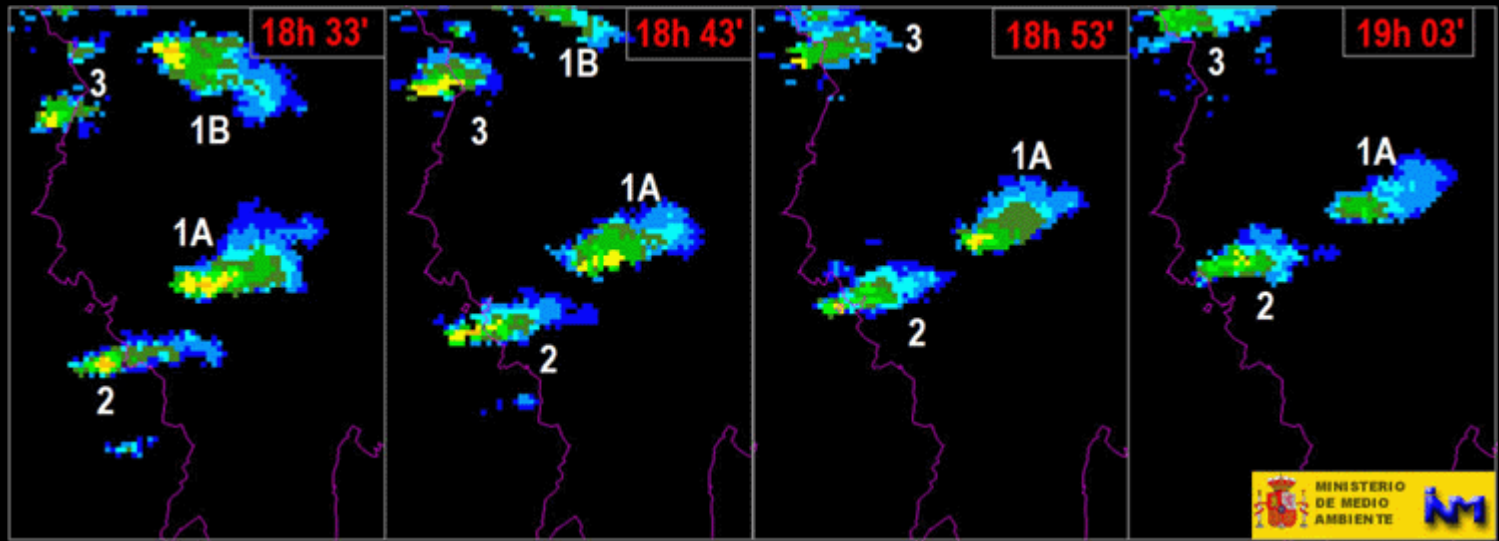


Fig.28. Entre las 18h 33'Z y 19h 03'Z. Reflectividad, radar de Madrid. © Propiedad Instituto Nacional de Meteorología.

### **Movimiento y Propagación de la Tormenta**

Sobre el desplazamiento (traslación + propagación) seguida por las dos células nos queda por hacer algunas aclaraciones más. Normalmente, una tormenta al convertirse en supercélula, se desvía a la derecha del flujo medio (1-6Km) si posee un mesovortice ciclónico ó a la izquierda del flujo medio (1-6Km) si posee un mesovortice anticiclónico. Por regla general se tiende a creer entre los "chasers" y los "spotters" que su velocidad de desplazamiento es un 75% la del flujo medio de los 1-6Km, y su dirección, desviada 30° a la derecha del mismo. Pero esto sólo es verdad para el caso del miembro ciclónico y para tormentas cuya hodógrafa se "desarrolla" en el cuadrante NE o primer cuadrante. Climatológicamente son los casos más comunes en nuestras latitudes y de ahí esta creencia. La "cantidad" o grado de ese desvío y la velocidad de propagación de la tormenta depende del "cuadrante" donde queda enmarcado el vector flujo medio de los 1-6Km y de la dirección y magnitud del vector cizalladura. Como explicar todo esto en este reportaje queda fuera de lugar por su extensión y contenido (os remitimos a la Sección de Formación donde próximamente se expondrán más claramente todos estos conceptos) pero vamos a tratar de dar aquí unas ideas muy básicas.

Por "cuadrante" entendemos cada uno de los cuatro: NE, SE, SW y NW que resultan al dividir vertical y horizontalmente una circunferencia con el Norte arriba y el Sur abajo, Este a la derecha y Oeste a la izquierda. Y por **Hodógrafa** la línea o curva o recta formada al unir cada uno de los vectores de viento de cada uno de los niveles en la vertical, trazados desde el origen. También se suele decir que el vector cizalladura del viento entre dos niveles consecutivos en la vertical, forma un trozo de la hodógrafa. Esencialmente lo que nos muestra la hodógrafa es como cambia el viento con la altura. Generalmente, en nuestras latitudes, las tormentas se mueven de SW a NE, es decir que hay un flujo medio del SW, por lo que la hodógrafa se sitúa sobre el 1er. cuadrante. La situación que nos ocupa aquí fue así. En caso de generarse una SP ciclónica, su movimiento sería de Oeste a Este aprox. (desvío hacia la derecha del flujo medio que es SW) ver figura 12c. Y en caso de tratarse de una SP anticiclónica su movimiento sería de Sur a Norte aprox. (desvío hacia la izquierda del flujo medio) ver figura 13c. Aquí tenemos los dos casos "reunidos" porque después del "Storm Splitting" permanecieron los dos miembros activos, ver figura 14c para más detalle. Aunque hay que aclarar que el desvío no fue tan acentuado como lo es normalmente en las SP's clásicas, por las razones mencionadas anteriormente y por los menores gradientes de presión horizontales generados (forzamientos dinámicos), que a su vez están relacionadas con el menor tamaño de los mesociclones que poseen (con velocidades rotacionales también menores y con ciclos de vida más cortos).

Si nos fijamos en el mapa de la figura 29, que muestra las trayectorias seguidas por los dos miembros, podemos observar como la célula inicial, antes de la subdivisión, se mueve por la trayectoria violeta (flujo SSW), y una vez que ésta se produce, la célula ciclónica (en color rojo) se desvía hacia la derecha y la célula anticiclónica se desvía hacia la izquierda (color azul), separándose una de otra cada vez más. A su vez la célula anticiclónica se propaga mucho más deprisa que la célula ciclónica, hecho que es coherente con la teoría de la dinámica de Supercélulas para un flujo medio del SSW y, por tanto, hodógrafa en el 1er. cuadrante. Las líneas negras unen mismos estados temporales para las dos células, es decir para el sistema total. Los cuadrados azules y rojos muestran la ubicación del centroide de la célula, donde se daban los máximos de reflectividad para cada paso de tiempo. Considerar, pues, que la "pluma" de la tormenta se extendía unos 20Km. hacia el este (derecha) de cada uno de ellos.



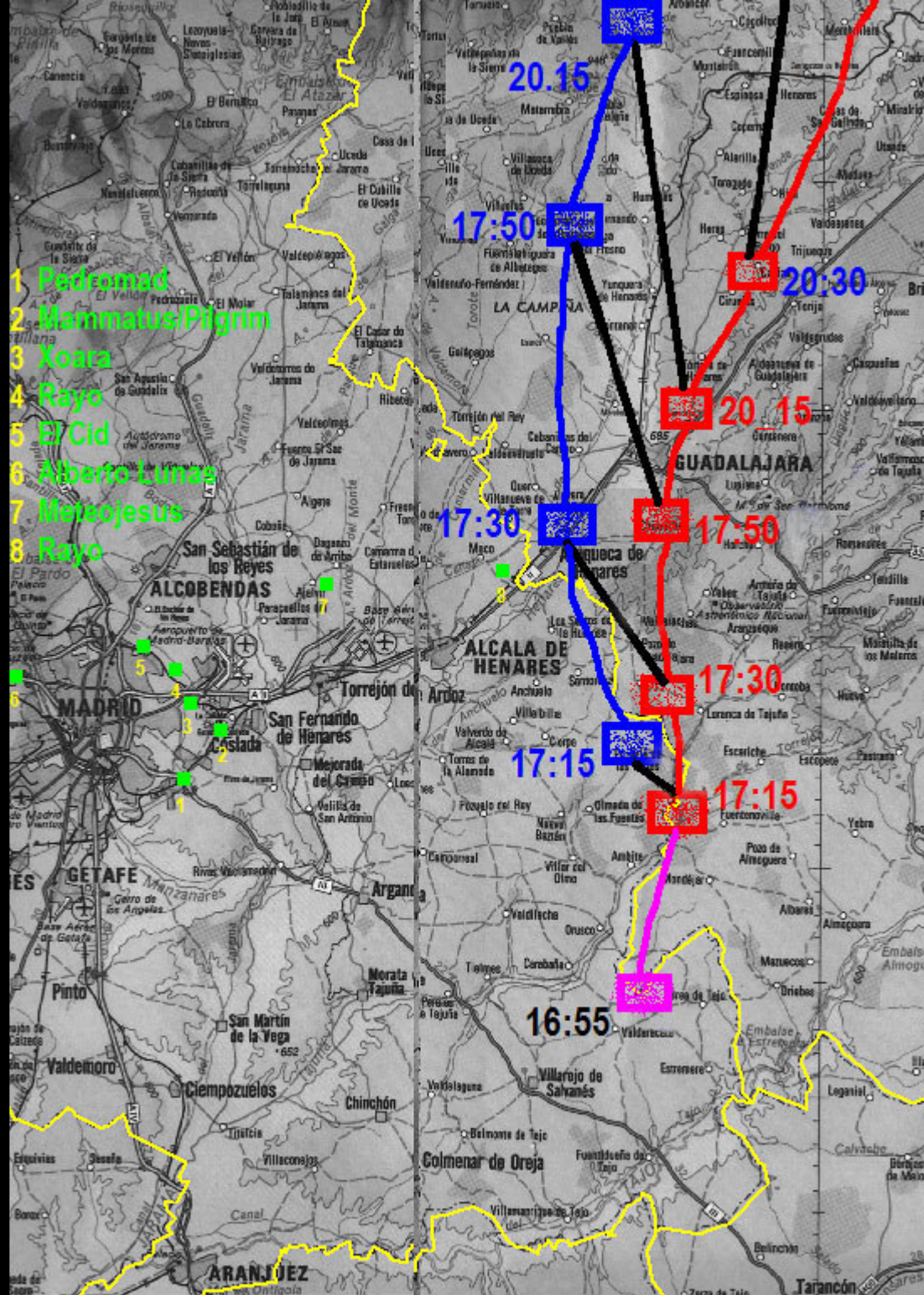


Fig.29 Posición de los dos miembros del Splitting, ciclónico (rojo) y anticiclónico (azul) a cada paso de tiempo y ubicación de los observadores.

Si en vez de haber tenido las condiciones de viento que "dibujaban" la hodógrafa sobre el cuadrante NE (o primer cuadrante) hubiéramos tenido otras que la situaran sobre el cuadrante SE (o segundo cuadrante), el miembro anticiclónico se hubiera propagado más lentamente que el ciclónico, es decir justo al revés. Pero, en cualquier caso, la célula ciclónica se hubiera desviado también a la derecha del flujo medio y la anticiclónica a la izquierda, esto no varía. Lo vemos más claramente en las figuras 30 y 31. Las letras L (Left) y R (Right) que acompañan a las flechas verdes muestran el movimiento aproximado de las Supercélulas anticiclónica y ciclónica para un flujo medio del SW (figura 30) y para un flujo medio del NW (figura 31). La línea amarilla sería la Hodógrafa. Como se puede apreciar son líneas rectas más que curvas, es decir son hodográficas rectas. La forma de la hodógrafa, recta o curva da una idea del tipo de cizalladura que existe para un sondeo dado, y es muy útil para los predictores pues da idea del tipo de convección (Unicélulas, Multicélulas, Líneas de Turbonada, Supercélulas ciclónicas o anticiclónicas, "Storm Splitting" ..... ) que se puede presentar para unas condiciones de inestabilidad dadas.

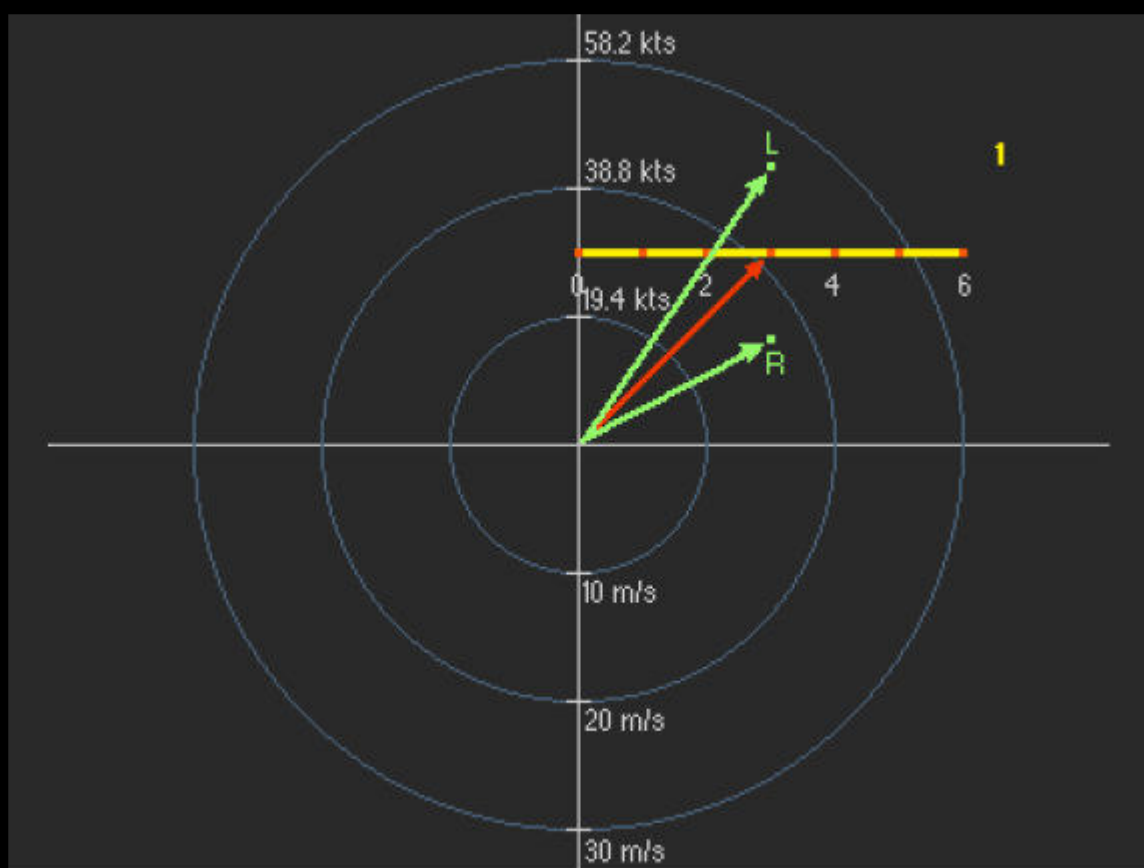


Fig. 30 Hodógrafa sobre el cuadrante NE. Se desplaza más deprisa el miembro anticiclónico.



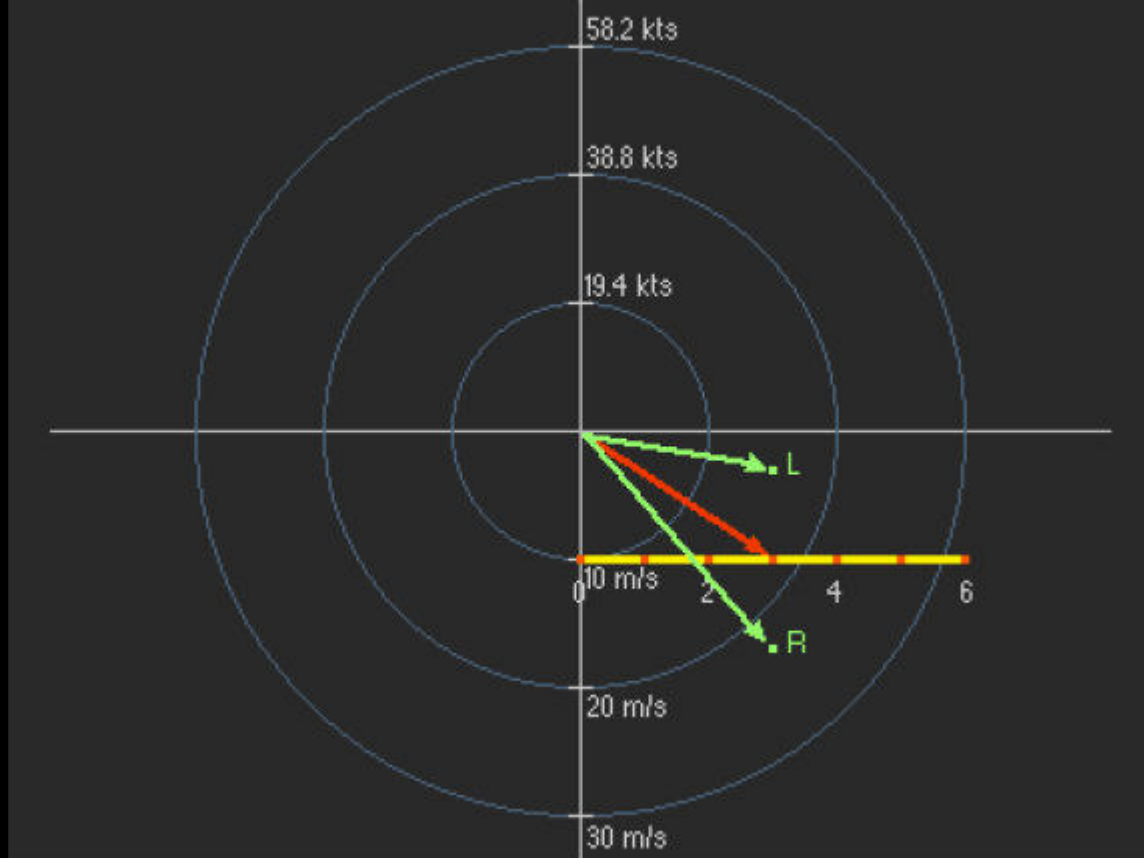


Fig. 31. Hodógrafa sobre el cuadrante SE. Se desplaza más deprisa el miembro ciclónico.

Las combinaciones se duplican si consideramos los cuadrantes SW (3er. cuadrante) y NW (4º cuadrante), que son mucho más raras en el hemisferio norte, aunque no tanto como nos pueda parecer. Concretamente, y como curiosidad, comentaremos que el 6 de Junio de 2004 se desarrolló una Supercélula anticiclónica ("Left Moving Supercell") sobre la Comarca de las Hurdes (Cáceres) y frontera con Salamanca, con un flujo medio del ESE, que "dibujaba" una hodógrafa sobre el cuadrante NW (4º cuadrante). Previamente hubo también un "Storm Splitting" sobre el oeste de la provincia de Avila, pero debido a las condiciones de cizalladura "counterclockwise" que reinaban ese día, el miembro ciclónico desapareció rápidamente, manteniéndose activo sólo el miembro anticiclónico. La tormenta se desplazó, como era de esperar, de Este a Oeste (sentido retrogrado), es decir unos 30º grados a la izquierda del flujo ESE. Incluso en algunos momentos del episodio, el desvío fue aun mayor, moviéndose la tormenta de NE a SW, increíble pero cierto !!! Se produjeron granizos de 12 cm. de diámetro y vientos huracanados con serios daños en toda la zona. Este reportaje lo tendréis muy pronto aquí también.

Os recomiendo que echéis ahora un vistazo, ya con más tranquilidad, a las figuras 12c, 13c y 14c, y en concreto a los vectores coloreados en verde (movimiento de la Supercélula ciclónica o anticiclónica), rojo (flujo medio de los 6 primeros km.) y naranja (vector cizalladura). Recordad, la línea amarilla es la Hodógrafa y se forma uniendo la "punta de flecha" de los vectores del viento a cada uno de los niveles (los números en rojo sobre ella son las diferentes alturas en Km.).

### **Simulación numérica Modulo COMET MATRIX**

Hemos considerado de notable interés para entender este y otros episodios relacionados con las tormentas supercelulares, mostraros aquí unas simulaciones de tormentas obtenidas a través de unos módulos de enseñanza asistida por ordenador que la University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), a través de su programa COMET (Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training), pone a disposición de todos los internautas en la dirección: [http://meted.ucar.edu/resource\\_modlist.php](http://meted.ucar.edu/resource_modlist.php)

Los programas se pueden bajar a tu disco duro local o ejecutarlos en remoto. En concreto el modulo que aquí hemos utilizado se llama "A Convective Storm Matrix, Bouyancy/Shear Dependencies", donde se exponen en una especie de tabla o matriz diferentes perfiles de viento o cizalladura (shear) para diferentes grados de inestabilidad (Bouyancy). El programa muestra en función, de la "casilla" elegida cual sería la evolución de la tormenta para las condiciones que le hemos introducido, ver figura 33:

Main Menu	Questions			
Instructions	CAPE			
Overview	Low	Mod	Moist	Dry
<b>A</b>		A2		A4
<b>B</b>		B2		B4
<b>C</b>		C2		C4
<b>D</b>		D2		D4
<b>E</b>		E2		E4
<b>F</b>	F1	F2	F3	F4
<b>G</b>	<b>G1</b>	G2	G3	G4
<b>H</b>	H1	H2	H3	H4
<b>I</b>	I1	I2	I3	I4
<b>J</b>	J1	J2	J3	J4
<b>K</b>	K1	K2	K3	K4
<b>L</b>	L1	L2	L3	L4
<b>M</b>	M1	M2	M3	M4
<b>N</b>	N1	N2	N3	N4
<b>O</b>	O1	O2	O3	O4
<b>P</b>	P1	P2	P3	P4
Views				
0.4 km (Low)	4.0 km (High)	3D		
Environment		Summary		

Fig. 33

Como podéis ver en la columna de la izquierda, en azul marino, figuran 16 tipos de Hodógrafas, cada una representa un perfil de cizalladura diferente. A su vez arriba tenemos 4 tipos de CAPE diferentes, bajo, moderado, húmedo y seco. Se trata de elegir en las casillas en color "azul claro", la combinación que más se ajusta a las condiciones que queremos simular. En nuestro caso es la G1, cizalladura casi unidireccional y CAPE bajo. Una vez activada la casilla G1, podemos elegir entre 5 posibilidad o "Views", que son 1-Animación de 3 horas de reflectividad en un plano a 0.4Km de altura. 2-Animación de 3 horas de reflectividad en un plano a 4.0Km de altura. 3-Visualización en 3D de las células durante las 3 horas de evolución. 4- "Environment", que nos muestra el sondeo, la hodógrafa y los índices de inestabilidad para esas condiciones. 5- "Summary", hace un resumen del tipo de convección que se puede esperar para las condiciones dadas. En nuestro caso el "Environment" se puede ver en la Fig. 35 y el "Summary" en la Fig.34.

## A Convective Storm Matrix

**SUMMARY G1**

1/4 curve to 2.5 km, Linear to 7.5 km,  $U_s = 30$  m/s, Low CAPE

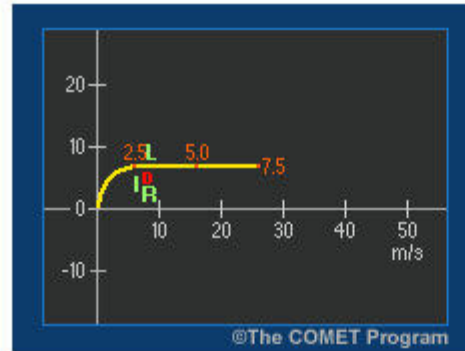
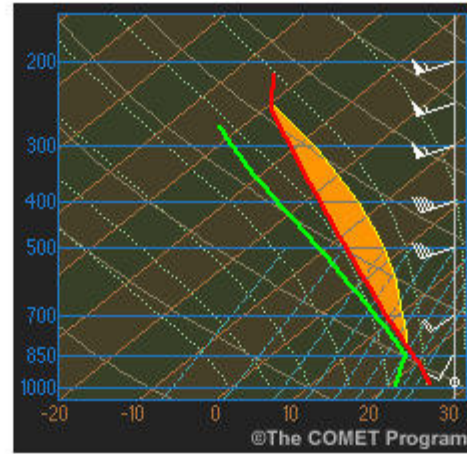
Shallow (mini) supercells:

The initial cell splits into small, shallow cyclonic and anticyclonic supercells, with the cyclonic right-moving supercell updraft slightly stronger. The vertical wind shear is too strong relative to the cold pool circulation to promote sufficient lifting for new ordinary cell growth along the gust front between the split supercells.

Fig. 34

# A Convective Storm Matrix

Simulation G1 - Environment



CAPE = 1243 J/kg

LI = -4 K

Us = 30 m/s

BRN Shear = 39.8

BRN = 31

Produced by The COMET® Program

Fig. 35

Mientras que la vista de la evolución temporal de la reflectividad y su visión 3D os la hemos resumido en un GIF animado que se muestra a continuación en la fig.36. En la fig. 37 os mostramos la evolución (sin el 3D) para el caso E2, para que veáis la diferencia. En el caso E2 la cizalladura es totalmente unidireccional y más intensa, lo que genera un "Storm Splitting" con dos Supercélulas clásicas, no "minis".

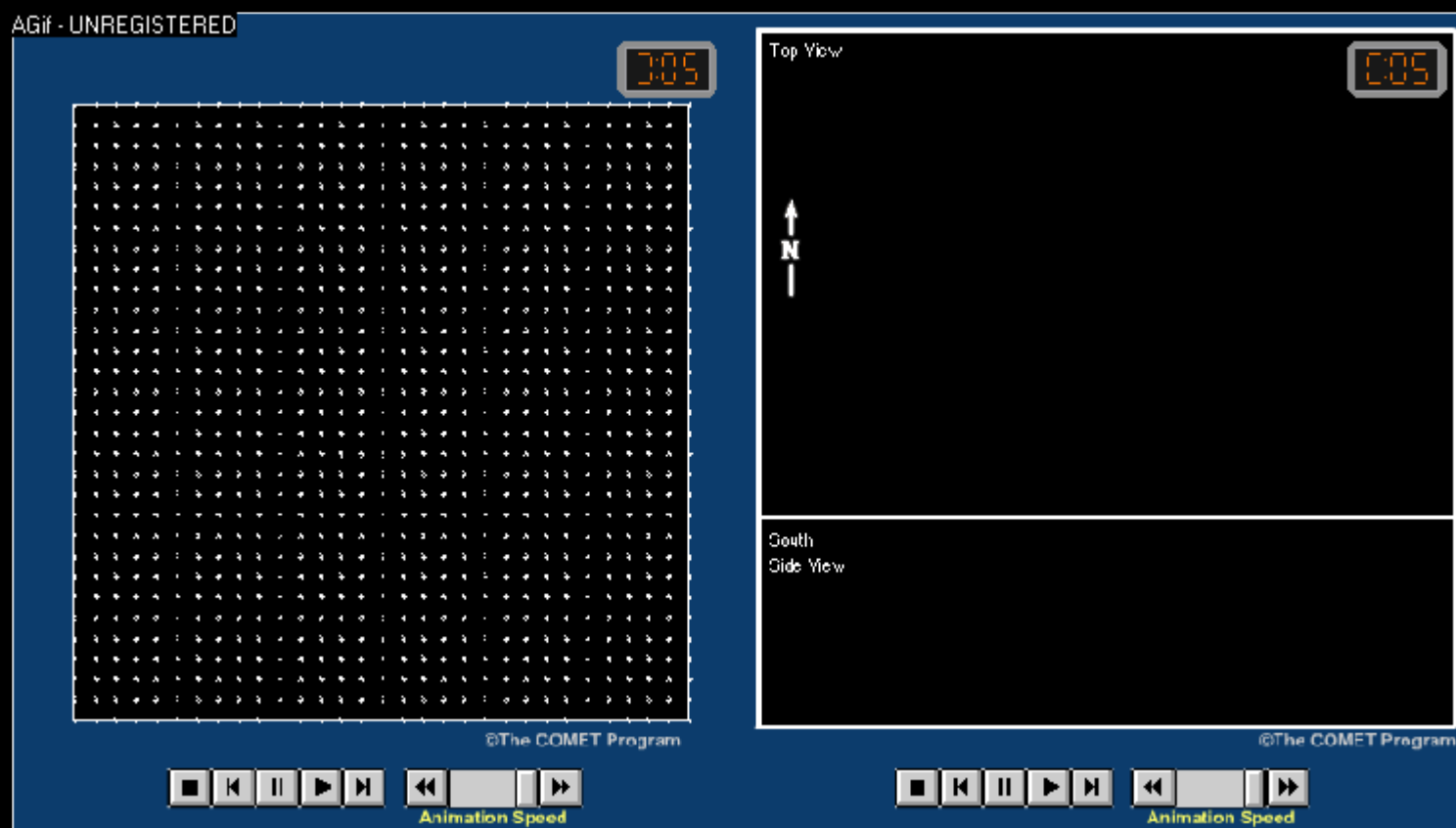


Fig. 36



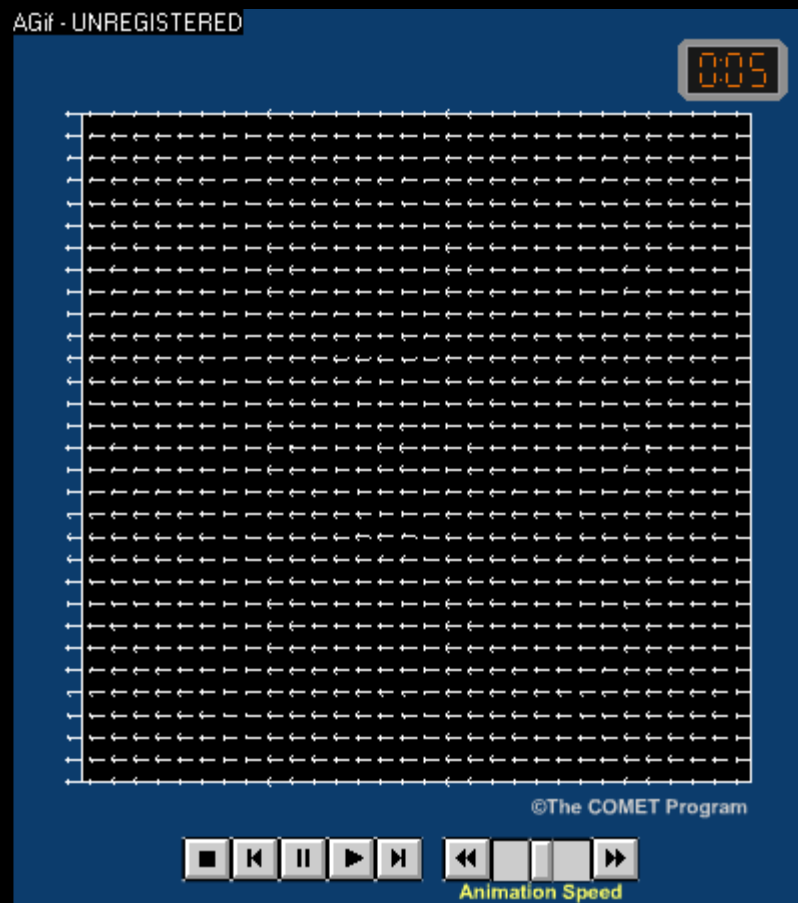


Fig.37

Os recomendamos que os bajéis este modulo, es sumamente didáctico y fácil de usar. También existe otro similar llamado "A MCS Matrix", indicado para Sistemas Convectivos de Mesoescala. Así mismo son de gran interés los titulados "Predicting Supercell Motion Using Hodograph Techniques", (Predicción del movimiento de las supercélulas usando la hodógrafa) y los tres sobre Principios de la Convección, "Principles of Convection I: Buoyancy and CAPE" (Flotabilidad y CAPE), "Principles of Convection II: Using Hodographs" (Usando la Hodógrafa) y "Principles of Convection III: Shear and Convective Storms" (Cizalladura y Tormentas).

### **Reportaje Fotográfico**

Este es el relato, entre nervioso y emocionado, que acompañé a las fotografías posteadas en el tópic de Meteored, a la vuelta de la "kaza", sobre las 11 de la noche, sirva como testimonio de un día memorable:

*"Lo de ayer fue excepcional, fuera de todo lo imaginable. Después del año que llevamos en Madrid con todas las fabulosas nubes que hemos tenido, tubas incluidas, si me dicen que voy a ver esto, no me lo creo. Salí del trabajo, sobre las 19h con el "pepino" enfrente, por la M-40, hacia el Este, a 170 !!! (lo siento, esto no me suele pasar), llegué al Juan Carlos I, y me fui a otro sitio para no pillar como telón de fondo la consabida rueda roja (el donuts azteca). No sabía que hacer, estaba sólo, sin parar de tirar fotos, sin pelar en el móvil, sin avisar a casa de que no iba todavía.*

*Con las mismas decidí irme detrás de ella hacia Guadalajara, por la R-2 (te puedes parar sin peligro en los arcones) llevaba 250 fotos en el mismo sitio y tenía que cambiar y llevaba sólo 6 Euros, lo justo para el peaje, en fin ..... Iba conduciendo sacando fotos a la vez, no había nadie en el peaje. El pedazo de célula siempre enfrente, algunas de las fotos desde el coche son incluso mejores que las que saqué parado en el arcén. Paré en un sitio seguro, me salí incluso del arcén, puse los intermitentes, la última célula que vino de Torrejón tenía una base negra y verde con nubes retorcidas, increíbles, como un cerebro o algo así, las ví también en otra tormenta sobre Barajas en Junio.*

*De repente un suceso sin importancia me sacó de mi sueño real, un chaval camerunés montado, en un R-19 morado, con el toro de Osborne y la bandera de España presidiendo la trasera del vehículo, se para en pleno carril derecho, en mitad de la Autopista, sin ningún tipo de precaución y me pregunta como puede ir para Torrelaguna. Paso un rato desconectado contándole que va muy mal encaminado. Esto me da un respiro. La tormenta me tenía abducido.*

*Al pasar Ajalvir me di cuenta de que no llevaba gasolina para muchos kilómetros (unos 30), pero no volví a acordarme de ello, a partir de aquí el paisaje cambió radicalmente. Empezaron a aparecer restos de un ventarrón bestial, la autopista tenía desechos vegetales por todos lados. La atmósfera se volvió turbia, rojiza, nada que ver con lo que se veía desde Madrid, el viento no debía bajar de los 60-70 Km/hora sin rachas, a la altura de Meco, me salí, no tenía más gasolina.*

*El coche se me paró a 1Km de la gasolinera de Alcalá de Henares, ..... movida, pero yo seguía haciendo fotos sin parar, parecía el superviviente de un tornado o algo así. Por cierto juraría haber visto una Tuba colgando del centro del "cacharro", pero para cuando pude parar ya no estaba a tiro. Llegué a casa a las 10 de la noche.*

*Lo de ayer estuvo próximo a ser una Supercélula, ya lo contaré más despacio, pero lo que si es casi seguro es que lo que tuvimos en Madrid, fue un proceso de "Storm Splitting", la división de una Tormenta en dos células totalmente simétricas, una progresa normalmente a Supercélula (ciclónica o anticiclónica) cuando hay suficiente Helicidad y la otra no, o por el contrario ninguna se ve "beneficiada", no hay rotación en la corriente ascendente, si hay un perfil de viento con Cizalladura Unidireccional como el que teníamos ayer, véase el sondeo de Madrid de las 12Z y el de hoy día 8 a las 00Z."*

Las siguientes 5 fotos fueron tomadas por Francisco José Rodríguez Hernando (Mammatus) desde Coslada (Madrid) en los momentos previos a la división de la tormenta, es decir antes de las 17h 03'Z., pero después del 1er. eco ocurrido a las 16h 43'Z. Si no fuera por lo que pasó después, a esta nube no la hubiéramos prestado mayor atención, un Cb calvus, bonito si, pero como tantos otros. Sin embargo nuestro compañero Mammatus, como siempre ojo avizor, se anticipó a los hechos y obtuvo estas preciosas instantáneas de lo que según hemos visto en la teoría anterior, era ya una tormenta que presentaba rotación, es decir una supercélula en potencia, previa al "Storm Splitting"



Foto-3: Esta es la primera foto de la posible supercélula, eran las 16h 48'Z.



Foto-4: 16h. 51'Z



Foto-5: 16h 52'Z





Foto-6: 16h 55'Z



Foto-7: 17h 05'Z, ¿Sería este el momento y lugar de la subdivisión?



Foto-8. Es la primera foto que yo hago al sistema, desde el INM (Ciudad Universitaria), son las 17:14Z. Ya se había producido el "Storm-Splitting" (o eso supongo). Esto que vemos es la Célula 1A. (también supongo)





Foto-9. Disparado por la M-40, camino de Hortaleza. 17:30Z. Desde esta posición al Norte de Madrid, se divisa con más claridad todo el "perfil" del sistema. De izqda. a derecha Células 1B y 1A.



Foto-10: 17:33Z, al llegar a Hortaleza, estoy situado justamente "de canto" respecto al sistema. Detrás de esos dos "cabezones" se extienden unos densos yunques.



Foto-11: 17:36Z. Ya estoy instalado "comodamente" en el parque Juan Carlos I. Las dos células 1B y 1A, de izquierda a derecha respectivamente, al Este, a unos 25 Km. de mi posición. IMPONENTES !!!!





Foto-12: 17:37 Z. Parece que no, pero en cuestión de 1 minuto se notan pequeñas diferencias. En la base de célula de la izquierda, la 1B, se observan dos amenazantes nubes en forma TUBA.



Foto-13: 17:38z



Foto-14: 17:39Z. Obsérvese la increíble densidad de este yunque correspondiente a la célula ciclónica. Como luego mostraría el radar de Madrid del INM, se alcanzarían "echotops" de 14 Km. de altura.





Foto-15: 17:42Z. Un poco más tarde, cesa el crecimiento vertical, el yunque empieza a expandirse, pero sigue teniendo una densidad fuera de lo común.



Foto-16: 17h 43' Z

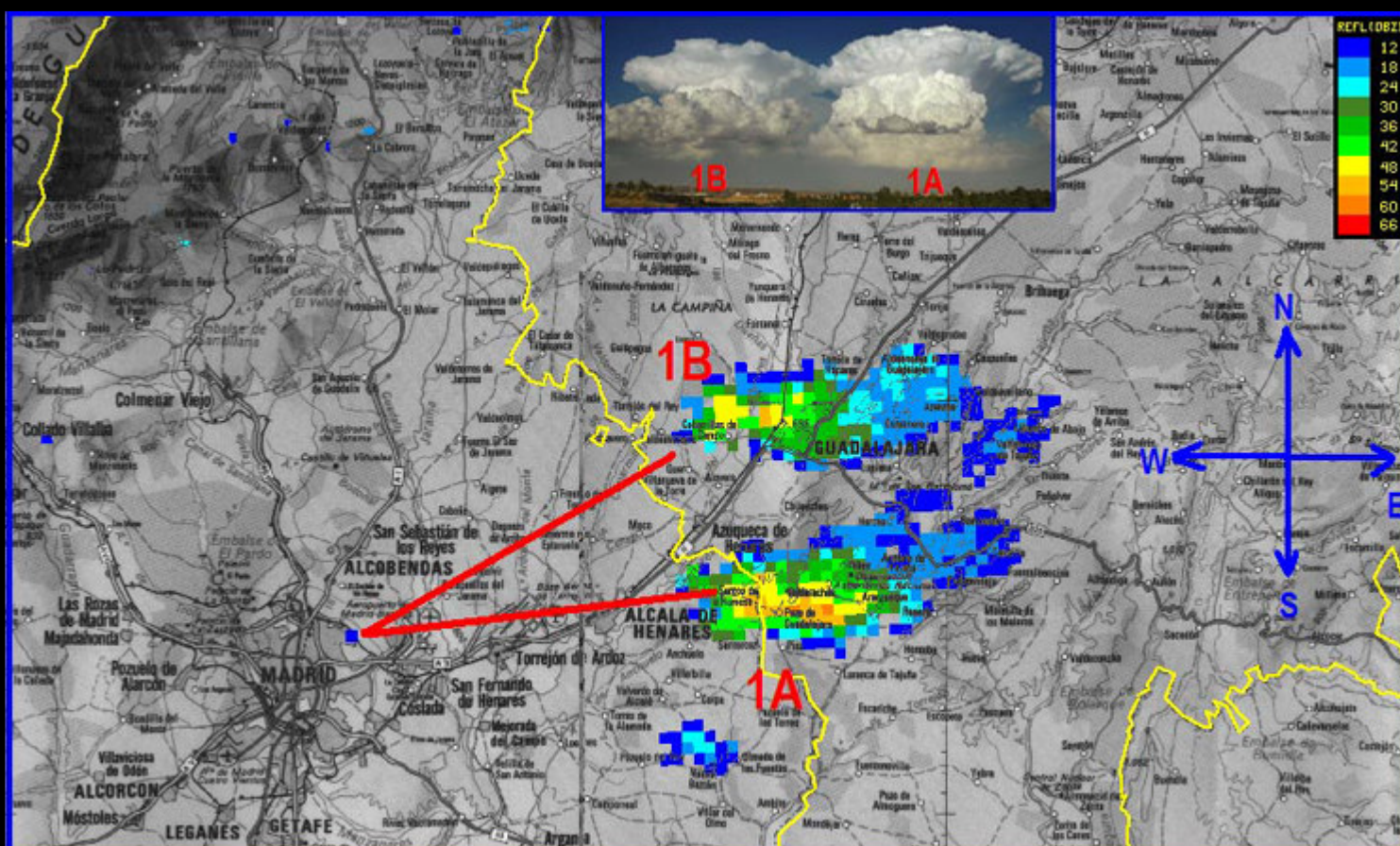


Fig. 32: Así se veían tanto en vivo, (foto miniatura desde Hortaleza, NE de Madrid), como en mapa del radar de Madrid, las dos células a las 17h 43'Z. A unos 30 Km. al ENE de la capital





Foto-17: 17:46Z. Perfecta simetría!!!!



Foto 18: 17:48Z. Es la última foto hecha desde Hortaleza, ya no aguanto más en el mismo sitio, cojo el coche de nuevo, camino de Guadalajara por la R-2.  
A por ella .....



Foto 19: Extraordinaria panorámica obtenida por Pedro Serrano (Pedromad) desde el Cerro Almodóvar (725 m.), al SE de Madrid, en las proximidades de Santa Eugenia, a la misma hora que la foto 18, las 17:48Z. En ella podemos observar de Norte a Sur (izquierda a derecha) las células 1B y 1A del "Storm Splitting" y los tres núcleos que originarían la célula 2 que posiblemente se formaron por la convergencia del frente de racha de la célula 1A y el flujo del SSE dominante en niveles bajos. Simétricamente, a la izquierda, pasaba algo similar con la célula 1B: posteriormente se formaría la célula 3, al NW de la 1B. Obsérvese que la foto 18, tomada desde Hortaleza, muestra exactamente lo mismo que Pedromad veía desde el Cerro Almodóvar, (en lo referente al centro de su fotograma) células 1A Y 1B.



Foto 20: 18:04Z. Subiendo del Jarama, hacia Ajalvir por la R-2.





Foto-21: 18:09Z. Primera parada en el Arcén, cerca de Torrejón.



Foto-22: 18:09Z. A la misma hora desde Coslada, Mammatus y Pilgrim veían esto. La distancia entre ellos y donde yo estaba era de unos 10Km.



Foto-23. 18:12Z. Foto tomada desde Coslada por Francisco J. Rodríguez (Mammatus). Obsérvense las dos células del Split (la 1B y la 1A) y a la derecha del todo la célula 2.





Foto-24: 18:12Z. Los carteles de la autopista indican viento. El vendaval a esta altura, era impresionante. Al miembro ciclónico, célula derecha, se le empiezan a ver ya amenazantes protuberancias en su oscura base, Incluso se percibe cierta rotación ciclónica a simple vista, pena de video ....



Foto 25: 18:18Z. Aquí me paré definitivamente. (2 km. más adelante me quedé sin gasoleo). Si sigo más me meto dentro de la zona de precipitación de la célula ciclónica, y no voy a ver nada. Además desde este punto la vista de todo del sistema es prodigiosa, no recuerdo haber visto algo tan SALVAJEMENTE BELLO en toda mi vida. Apenas pasan coches, el silencio sólo lo rompe el rumor del fuerte viento. Estoy situado, aproximadamente, entre Meco (Madrid) y Azuqueca de Henares (Guadalajara). La vista desde esta distancia, unos 15Km. a la base de la célula derecha (miembro ciclónico o 1A), es imponente. Sin embargo la célula izquierda (miembro anticiclónico o 1B) queda ya bastante más lejos. Una gran estela blanca, de granizo, cubre todo el valle del Henares entre Azuqueca y Guadalajara.

A partir de aquí pongo unas fotos fuera ya de la secuencia temporal y agrupadas por "temáticas diferentes"





Foto-26:



Foto-27:



Foto-28:





Foto-29:



Foto 30. Las fotos 26, 27, 28, 29 y 30 muestran, en las bases de la célula 1A, "funnel clouds", "wall clouds" y cierta rotación. Algunas son "fragmentos" de fotos tomadas conduciendo, lamentablemente están movidas y subexpuestas.



Foto-31





Foto-32



Foto-33: Las fotos 31, 32 y 33 muestran algunos de los numerosos aviones que en los despegues de Barajas, hacia el SE, evitaban aproximarse a la gran nube. Autor: Francisco José Rodríguez Hernando (Mammatus)



Foto 34. 17:30Z. CB Calvus, "cabeza" de la Célula 1A, fotografiada conduciendo por la M-40, camino de Hortaleza (Madrid).



Foto 35. 17:42Z. Esta foto ganó el PRIMER PREMIO del V Encuentro de Aficionados a la Meteorología, Sevilla-2004.  
Se trata de la célula ciclónica 1A.





Foto 36. Convección Masiva en la célula ciclónica (1A) a las 17h 45'Z.



Foto 37. 18:05Z. Conduciendo por la R-2 hacia Guadalajara.





Foto 38. 18:07Z. Un poco más adelante. En frente dos Cb Calvus que formarían la Célula 2, situada al SW del "Storm-Splitting"



Foto 39. 18:24Z. Única foto tomada hacia "atrás", hacia el Oeste en el momento de la puesta de Sol. La terrorífica nube que hay encima, es la base de la célula 2.





Foto 40. 18:25Z. "Panza" de la célula 2, sobre la población de Alcalá de Henares, el color del suelo era rojizo debido a la luz reflejada de las bases de las nubes.



Foto 41. 18:27Z. Poco a poco la puesta de sol va dejando unas luces "imposibles" sobre las nubes.  
Al fondo, hacia el Norte, la célula 1B, a unos 30 Km., bastante lejos de mi posición a las 20h 30'Z.  
La célula a la izquierda del todo es la célula 3, acaba de formarse (simétrica a la célula 2) al NW de la 1B.



FIG 42. Últimas luces del día sobre las cimas de las tormentas.  
Las dos fotos de arriba corresponden a la célula 1A, las dos de abajo a la célula 2.

Y nada más, mi más sincera enhorabuena si has conseguido llegar hasta aquí. Después de lío que he montado con derecha, izquierda, este, oeste, ciclónico, anticiclónico, ascendente, descendente, updraft, downdraft, horizontal, vertical, norte, sur, de frente, de lado, low topped, high topped, célula 1A, célula 1B, célula 2, célula 3, en rojo, en azul, a la derecha de la figura, a la izquierda de la figura, sentido de las agujas del reloj, sentido contrario a las agujas del reloj, clockwise, counterclockwise, al derecho, al revés, mesociclón, mesoanticiclón, left, right, niveles bajos, niveles altos, minisupercélula, supercélula, de abajo arriba, de arriba abajo, NW, NE, SW, SE, NNW, NNE, SSW, SSE ..... , tratando de explicar lo que es un "Storm Spitting", y no has entendido nada, quédate tranquilo, yo tampoco termino de entenderlo muy bien. Cuanto más leo, más cuenta me doy que no se nada, que esto es sólo el principio de un largo camino de aprendizaje. Así que no lo dudes, sigue aprendiendo. Un poco más abajo te dejo unas buenas referencias (algunas son verdaderos "papers" fundamentales sobre la dinámica de las Supercélulas) que no tienen desperdicio. Si quieres sabes más, pero ya "en serio", no dudes en consultarlas, casi todas están en la red. Espero, de todas maneras, que si que hayas disfrutado de las formidables fotos.

Saludos,  
José A. Quirantes,  
Rayo.

### **Tópicos del foro de reportajes de Meteored relacionados**

Pepinacus Bestialis Masivus !!! (Pepinaco Bestial Masivo)

<http://www.meteored.com/foro/index.php?board=13;action=display;threadid=14893>

rayo

SELENE, ha venido a visitarnos esta tarde a Madrid....

<http://www.meteored.com/foro/index.php?board=13;action=display;threadid=14890>

Mammatus y Pilgrim

El "bicho" kazado desde el Cerro Almodovar (725m)

<http://www.meteored.com/foro/index.php?board=13;action=display;threadid=14896>

Pedromad

Bombas convectivas al Este de Madrid 7-09-2004

<http://www.meteored.com/foro/index.php?board=13;action=display;threadid=14885>

elcidd

Fiesta de cumulonimbus (7 - sep)

<http://www.meteored.com/foro/index.php?board=13;action=display;threadid=14916>

Xoara

Fotos nuevas del espectáculo cumulonuclear

<http://www.meteored.com/foro/index.php?board=13;action=display;threadid=14891>

Alberto Lunas

### **Referencias**

"Split of a Thunderstorm into Anticyclonic and Cyclonic Storms and Their Motion as Determined from Numerical Model Experiments".  
Tetsuya FUJITA and Hector GRANDOSO, 1967.  
Journal of The Atmospheric Sciences.

"Simulations of Right and Left-Moving Storms Produced Through Storm Splitting"  
Joseph B. KLEMP and Robert B. WILHELMSON, 1978.  
Journal of The Atmospheric Sciences.



"A Three-Dimensional Numerical Simulation of Splitting Severe Storms on 3 April 1964"

Robert B. WILHELMSON and Joseph B. KELMP, 1981.

Journal of The Atmospheric Sciences.

"A Observational Study of Spitting Convective Clouds"

H. B. BLUESTEIN, E. W. McCAUL, G. P. BYRD, R.L. WALKO, R. DAVIES-JONES, 1989.

Monthly Weather Review.

"The Severe Weather Event of 18-June-97: An Example of Spitting Supercells"

R. GRAHAM, M. STAUDENMAIER, 1997.

Western Regional Technical Attachment, NOAA.

"The Use of Vertical Wind Shear versus Helicity in Interpreting Supercell Dynamics"

Morris L. WEISMAN and Richard ROTUNNO, 1999

Journal of The Atmospheric Sciences.

"Dynamics of Tornadic Thunderstorms"

Joseph B. KLEMP, 1987

National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.

"The Influence of Helicity on Numerical Simulated Convective Storms"

K. DROEGEMEIER, S.M. LAZURUS, R. DAVIES-JONES, 1992.

Monthly Weather Review.

"Mesocyclone characteristics of mini supercell thunderstorms"

Preprints, 15th Conference on Weather Analysis and Forecasting, Norfolk, VA, Amer. Meteor. Soc.

GRANT, B. and R. PRENTICE, 1996

"Predicting Supercell Motion using Hodograph Techniques"

M.J. BUNKERS, R.L. THOMPSON, M.L. WEISMAN, 1999

"A Primer on Vorticity for Application in Supercells and Tornadoes"

Charles A. DOSWELL III, 2000

Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies, Norman, Oklahoma.

"A Review for Forecasters on the Application of Hodographs to Forecasting Severe Tunderstorm"

Charles A. DOSWELL III, 1991

National Severe Storms Laboratory Norman, Oklahoma.

"Mini Supercell Thunderstorm: Their Enviroment & Convection Evolution"

Science and Technology, NWS Louisville, KY.

"Severe Convective Storms"

Edited by Charles A. DOSWELL III

AMS Meteorological Monograph Series, Volume 28, number 50

"Diagnostico y Predicción de la Convección Profunda"

Nota Técnica nº 35 del STAP, Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción,

Fermín ELIZAGA, Francisco MARTIN, Olinda CARRETERO, Ismael SAN AMBROSIO, 2001

Instituto Nacional de Meteorología,

Ministerio de Medio Ambiente.

Web del Instituto Nacional de Meteorología

<http://www.inn.es>

Casi todas las figuras del reportaje han sido sacadas de los módulos COMET,

University Corporation for Atmospheric Research (UCAR),

COMET (Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training)

<http://www.comet.ucar.edu/>

Todos los derechos reservados.

