

Nociones básicas sobre Supercélulas.

José Antonio Quirantes Calvo (INM-AEMet)

Marzo-2008

Introducción.

Durante los últimos años ha surgido en nuestro país, sobre todo por parte del mundo aficionado, un seguimiento *in crescendo* por un tipo particular de espectaculares tormentas severas, denominadas Supercélulas (SP). Las SP son las estructuras convectivas más organizadas dentro del espectro existente y por tanto las que más fascinación y admiración producen entre los profesionales y aficionados meteorológicos. Su alta capacidad para generar tiempo severo que conlleva casi siempre numerosas pérdidas económicas (y a veces humanas), junto a una disposición interna muy compleja y organizada, pero en parte predecible, ha hecho que desde hace más de 60 años en EEUU varias legiones de entusiastas investigadores y "cazatormentas" hayan dedicado grandes recursos a tratar de entender y predecir su comportamiento.

La definición básica de Supercélula (SP) es la siguiente: "*Tormenta convectiva que posee un profundo y persistente mesociclón*", (Doswell and Burgués, 1993). Por profundo, se entiende que la circulación que cumpla los criterios objetivos de mesociclón de Donaldson se extienda, sin interrupciones en la vertical, como mínimo sobre un 1/3 de la corriente ascendente, y por persistente que al menos genere señal en el radar durante dos barridos consecutivos (de 15 a 20'). Este tipo de tormenta suele alcanzar dimensiones excepcionales tanto en la vertical (15-20 Km. de altura) como en la horizontal (longitud semieje mayor de 50-200 Km.) y su persistencia media oscila entre 2 y 3 horas.

Hay dos particularidades fundamentales que las diferencian claramente de todas las demás estructuras convectivas. La primera es que se caracterizan por poseer una intensa corriente ascendente ("*updraft*") en continua rotación. Esta corriente, llamada Mesociclón (o Mesoanticiclón) se halla localizada fundamentalmente en niveles medios y tiene un diámetro medio de 5 a 8 Km. Este hecho les hace mantener un ciclo de vida inusualmente largo comparado con otras tormentas no-supercelulares posibilitando que sean muy eficientes a la hora de generar precipitación e intensos tornados. El sentido de giro de la corriente ascendente de una SP puede ser ciclónico (Mesociclón) o anticiclónico (Mesoanticiclón) lo que nos lleva a considerar Supercélulas ciclónicas ("*Rigth Moving Supercell*") o Supercélulas anticiclónicas ("*Left Moving Supercell*").

La segunda particularidad importante, es que se caracterizan por propagarse de forma anómala, desviándose significativamente, y a veces de forma totalmente perpendicular, respecto al flujo medio del viento o respecto al movimiento observado del resto de las tormentas convencionales con las que convivan. Estrictamente, decimos que se desvían a la derecha (Supercélulas ciclónicas) o a la izquierda (Supercélulas anticiclónicas) del vector medio cizalladura vertical del viento (BL-6Km)

Las SP son las estructuras convectivas con mayor grado de organización y eficiencia a la hora de generar tiempo severo, entendiéndose por esto cualquiera de los siguientes efectos en superficie: granizo mayor de 2 cm. de diámetro, y/o rachas de viento superiores a 98 Km./h, y/o inundaciones relámpago, y/o tornado, todo ello en cualquier momento de su ciclo de vida (e.g., Burgess and Lemon 1991). Las SP producen casi siempre (90%) tiempo extremo o severo, y sólo en un 20%-30% de los casos van acompañadas de tornado (Burgess and Lemon, 1990). Los tornados más intensos (F4-F5) son producidos siempre por una Supercélula (Moller et al. 1994), al igual que las piedras de granizo de mayor tamaño (5-15 cm. de diámetro). Cuatro son los requisitos fundamentales para la formación de una SP:

- 1- Entornos ricos de marcada cizalladura vertical del viento (o de significativa Helicidad Relativa a la Tormenta, SRH).
- 2- Suficiente inestabilidad para la convección profunda (CAPE).
- 3- Humedad en capas bajas. (Imprescindible sólo para Supercélulas HP)
- 4- Mecanismos de disparo apropiados (Forzamiento dinámico sinóptico y/o mesoescalar).

A continuación haremos una ligera introducción a los conceptos fundamentales en torno a las Supercélulas, haciendo hincapié en sus características radar, en su identificación visual, y dando una ligera introducción a la dinámica de Supercélulas, mostrando, al final, una pequeña estadística de los casos ocurridos en España durante el período 2003-2007

Estructura básica de una Supercélula.

En la fig. 1a, se muestra un corte horizontal de una Supercélula ciclónica a nivel de superficie y vemos que constan de:

- 1- Una **gran corriente ascendente** en rotación, llamada "*Updraft*" en la terminología anglosajona (marcada en rojo). La parte en rotación de esta corriente es el llamado mesociclón o mesoanticiclón.
- 2- Una corriente descendente, la **FFD** ("*Forward Flank Downdraft*") o **corriente descendente del flanco delantero** de la tormenta y que está asociada al núcleo principal o cascada de precipitación, (marcada en verde).
- 3- Una corriente descendente, la **RFD** ("*Rear Flank Downdraft*") o **corriente descendente del flanco trasero**, (marcada en azul), de vital importancia en la generación del tornado y que se origina en la fase de colapso de la Supercélula.

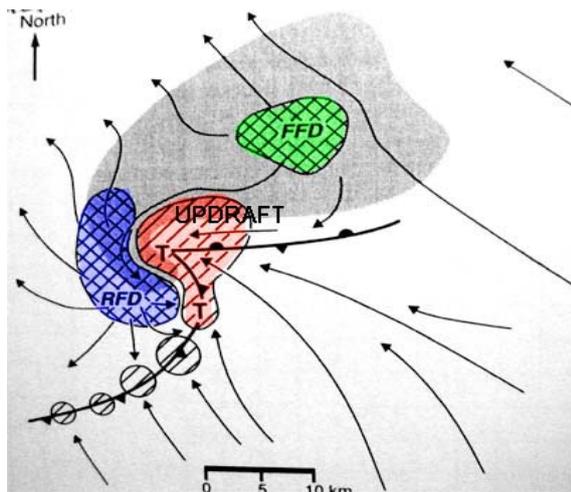


fig.1a

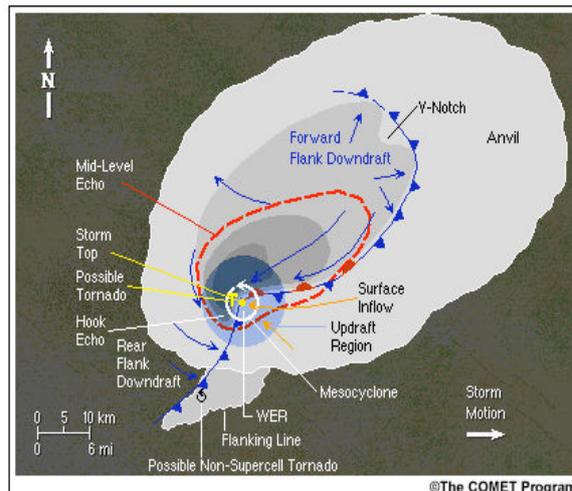


fig.1b (fuente módulos COMET)

La disposición tridimensional y el especial desacoplamiento de estas tres corrientes dentro de la Supercélula, de modo que no interaccionan destructivamente entre ellas (al menos durante unas horas), junto a un eficiente sistema de alimentación de flujo caracterizado por presentar "streamwise vorticity", hacen que la tormenta generada tenga una gran persistencia y una alta eficiencia a la hora de generar efectos severos en superficie.

En la figura 1b se muestra también un corte horizontal de una SP pero ahora con detalles no solo de superficie sino de varios niveles superpuestos y con indicación de las características "anatómicas" más sobresalientes que se encuentran en una Supercélula y que detallaremos más adelante.

Tipos de Supercélulas en referencia a la precipitación que producen.

Las Supercélulas están agrupadas en tres diferentes clases estructurales dependiendo de la cantidad de precipitación que generen (Ver figura 2). Estos tres tipos son LP ("Low Precipitation"), CL ("Classic") y HP ("High Precipitation"). Además existe otro tipo de SP denominado Minisupercélulas caracterizadas por unas dimensiones más reducidas y un ciclo de vida más corto.

1- Supercélulas de baja precipitación (LP)

Como su nombre indica producen precipitación escasa y dispersa. Están generalmente dominadas solo por la corriente ascendente ("updraft"), por lo que en estas SP alcanza el suelo muy poca precipitación. Se visualizan con corrientes ascendentes desprotegidas y translúcidas, mostrando un núcleo casi libre de precipitación. Por esta razón la rotación del sistema nuboso es directamente visible al observador, lo que las hace especialmente bellas y espectaculares al mostrar claramente todos sus componentes.

2- Supercélulas de alta precipitación (HP)

Éste, posiblemente, sea el tipo de Supercélula que afectó a Alcañiz el 16 de Agosto de 2003, a Pedro Muñoz el año 2006 y a Alcázar de San Juan en mayo del año 2007. Mientras que las de tipo LP tienen poca o ninguna precipitación dentro del mesociclón (y por lo tanto no hay señal radar), las HP tienen gran cantidad de precipitación, por lo que el radar presenta evidencias de la rotación claramente, a veces como bandas rotando alienadas con el flujo. Cuando se observa el gancho en estas tormentas, los valores de reflectividad en él son tan altos como los del núcleo. Producen todo tipo de tiempo severo, incluyendo tornados (ocultos por la precipitación) y pueden producir también precipitaciones torrenciales. Son las más frecuentes en EEUU. Este tipo de tormentas son especialmente peligrosas debido a que el posible tornado que se forme suele estar oculto por la cascada de precipitación que cae dentro del mesociclón, por lo que no "avisa" de su llegada hasta que prácticamente lo tenemos encima nuestra.

3- Supercélulas Clásicas (CL)

Entre los dos extremos anteriores se encuentra la supercélula clásica, con precipitación moderada. En el gancho, los valores de reflectividad son menores que los del núcleo. Durante la fase de colapso, dentro del mesociclón, puede aparecer precipitación, pero esto no se considera como la transición a una célula HP, a menos que el mesociclón persistiera después de que la célula colapsara. Son fácilmente detectables tanto visualmente como a través del radar y producen un amplio rango de tiempo severo, pero raramente se les asocia con inundaciones repentinas ("flash flood"). Eso sí, son las principales responsables de los tornados más violentos (F4/F5) en EEUU.

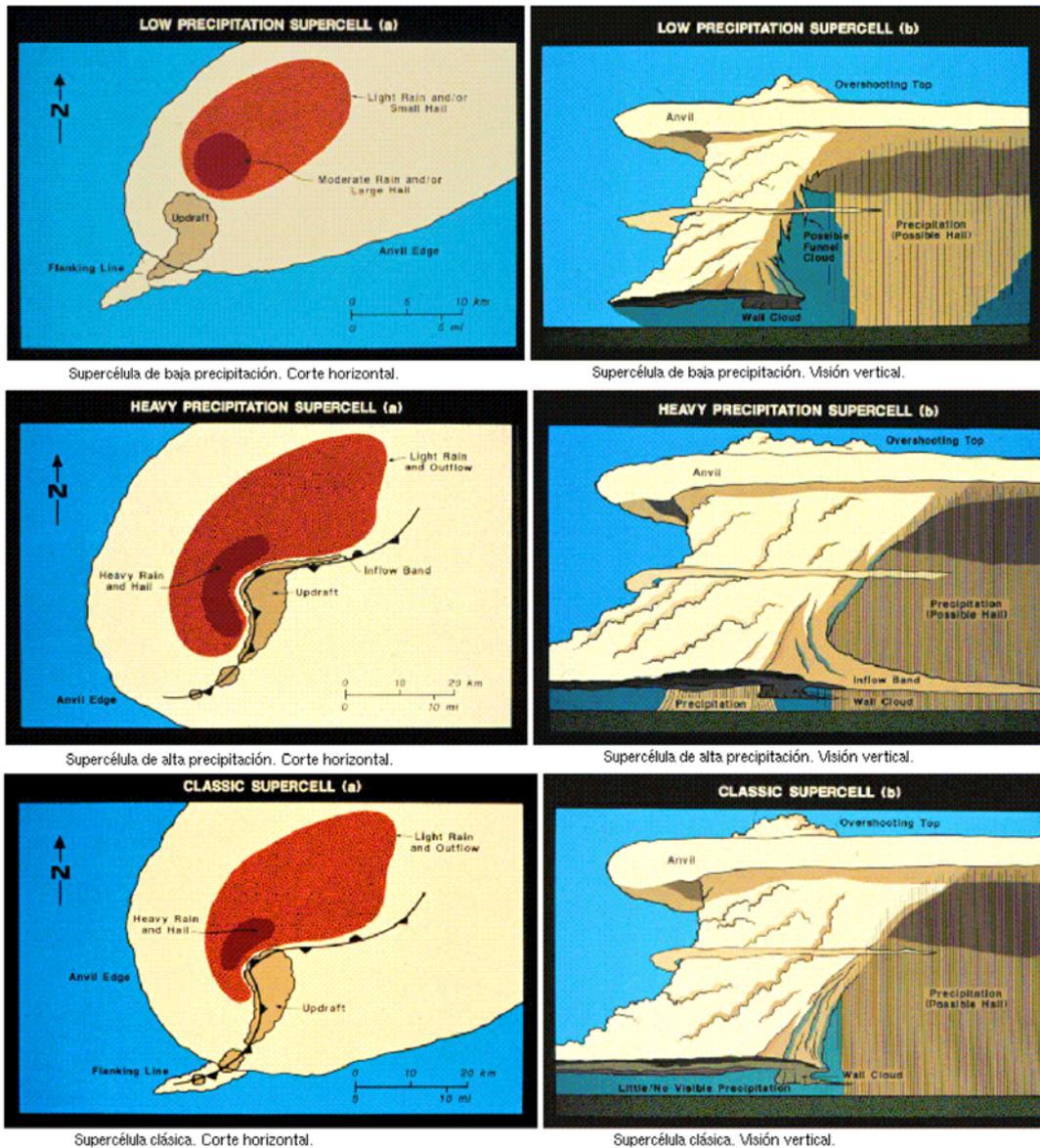


Fig.2 Cortes horizontales y verticales de Supercélulas LP, HP y CL. (de arriba abajo).

A la izquierda ecos de reflectividad asociados a la FFD, en rojo. La "updraft" en marrón. Fuente INM-AEMET

Componentes visuales característicos.

Si hay algo que diferencia a las Supercélulas del resto de las estructuras convectivas (ver figura 3) es la particularidad de mostrar una serie de componentes visuales fijos y comunes que las caracterizan rápidamente. Veamos algunas:

"*Overshooting top*": Torreón de apariencia "coliflor" que sobresale por encima del yunque de la Supercélula, debido a la intensa corriente ascendente.

"*Anvil*": Yunque de la Supercélula. Debido a la fuerte divergencia de la corriente ascendente al topar con la Tropopausa, la parte trasera del yunque ("*Back-Sheared Anvil*") tiende a desarrollarse más y a ocupar una zona más "trasera" que en otro tipo de Tormentas.

"*Flanking Line*": Línea de cúmulos congestus o "*Tower Cumulus*" que "viaja" en el flanco trasero de la tormenta. Es la zona donde parece estar generándose la nube constantemente, limita con cielo despejado en su parte SW.

"*Wall Cloud*": Nube en forma de muro, pared o pezuña de caballo, en continua y perceptible rotación que pende del Mesociclón, y desde la cual desciende el Tornado hasta tocar tierra, pudiendo aparecer varios en el ciclo de vida de un Mesociclón.

"*Tail Cloud*": Nube unida al "*Wall-Cloud*" en forma de cola, que tiene la particularidad de estar orientada por el flujo en capas bajas, de tal manera que apunta hacia la zona de precipitación principal y en cuyo lado opuesto se suele situar el tornado.

Otras características típicas de las SP son las "*Shelf Cloud*" nubes en forma de cinturones superpuestos, las "*Roll Cloud*" nubes bajas en forma de rodillo, la "*Funnel Cloud*" nube en forma de tuba, y el "*Clear Slot*" zona de cielo más clara, próxima al tornado, identificada con la RFD.

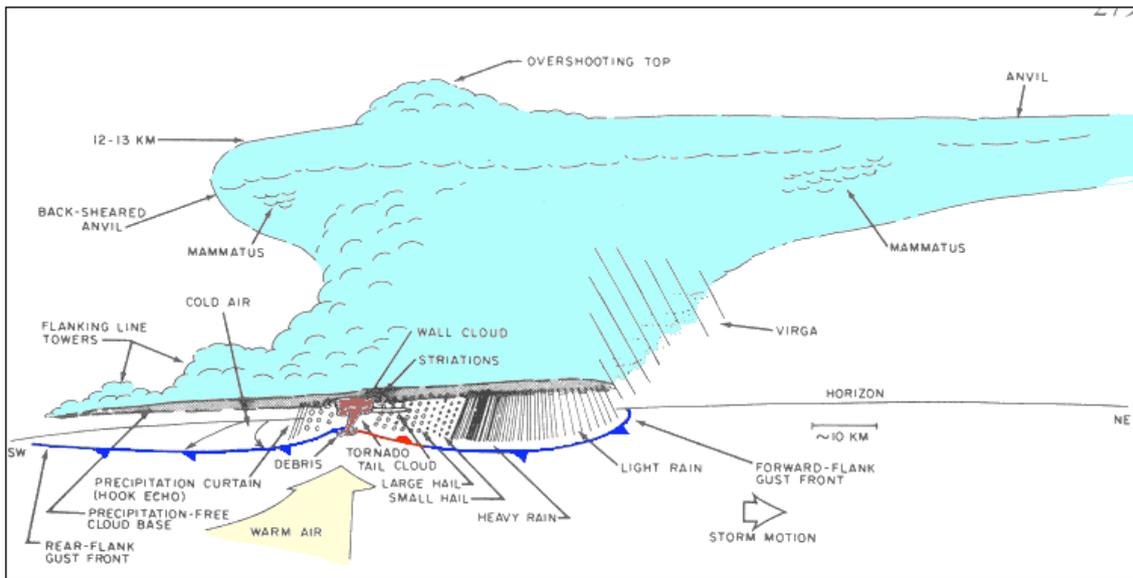


Figura 14: Esquema de la apariencia visual de una supercélula (con un tornado) y áreas de precipitación en superficie (basada en publicaciones del U.S. National Severe Storms Laboratory).

Fig. 3 Componentes visuales de una Supercélula. © U.S National Severe Storms Laboratory

Características de los ecos radar en una Supercélula

La principal característica radar de una SP (y la más conocida) es su estructura en forma de gancho en los PPI o CAPPI de reflectividad en niveles bajos y medios. Las SP tienen además otras características importantes que relacionamos, de forma breve, a continuación:

- 1- Niveles de reflectividad bajos en la zona de alimentación o entrada del flujo ("inflow") a bajos niveles.
- 2- Eco de reflectividad en la horizontal en forma de gancho ("Hook echo") en bajos y medios niveles.
- 3- Región de Eco Débil (RED), llamada también "Weak echo region" (WER), en bajos niveles.
- 4- Región de Eco Débil Acotada (REDA) o "Bounded Weak echo region" (BWER) en niveles medios e incluso altos. Gancho en la vertical.
- 5- Máxima reflectividad localizada en niveles altos y medios, superpuesta en la vertical sobre una RED niveles bajos.
- 6- Estructura en forma de "v" de las reflectividades en niveles altos, "V-NOTCH".
- 7- Identificación del "Clear Slot" y relación con la corriente descendente trasera "Rear Flank Downdraft" (RFD).
- 8- Detección de Mesociclones en el viento Doppler: dos máximos relativos de viento opuestos, muy cercanos y el segmento que los une perpendicular a la radial al punto donde está el radar.
- 9- Detección de "Tornado Vortex Signature" (TVS) en el viento Doppler.

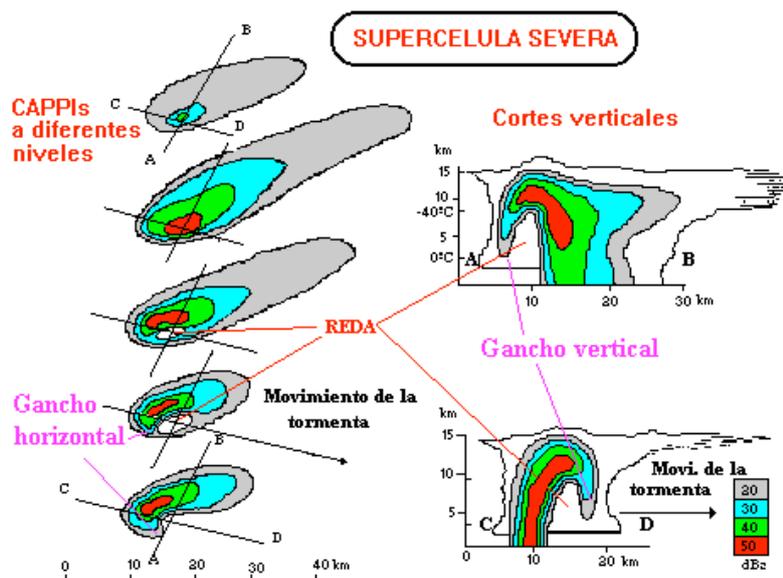


Fig. 4 Corte vertical y horizontal de los ecos de reflectividad de una Supercélula donde se observan sendas estructuras en forma de gancho. Imágenes obtenidas de los módulos TEMPO disponibles en la página web del INM-AEMET.

Obsérvese en la figura 4 lo elevada que está la zona abalconada, entre 8 y 12 Km. de altura. En el interior de la célula aparece una región de eco débil o no-eco, que está rodeada de una zona de ecos, en niveles altos, adoptando la forma de gancho que denominada BWER ("*Bounded Weak Echo Region*") en inglés o Región de Eco Débil Acotada (REDA) en castellano. Esta característica es exclusiva de las Supercélulas y no es imprescindible para catalogarlas como tales, ya que algunas veces no aparece tan marcada, sino solo como una Región de Eco Débil (RED) o "*Weak Echo Region*" (WER), es decir, un área sin estar acotada totalmente por zonas con ecos más intensos; en este caso, deducimos que la Supercélula tendrá una corriente ascendente menos intensa que cuando aparezca una zona REDA o BWER.

A la izquierda de la figura 4 vemos cinco CAPPI's (cortes horizontales de reflectividad a altitud constante) a diferentes niveles. En el CAPPI bajo, se puede observar una zona de fuerte gradiente de reflectividad en el lugar donde se alimenta la estructura; además, se observa la zona de gancho asociada a la precipitación descendente en el flanco delantero de la estructura; este elemento suele ser la señal de un mesociclón que se ha formado en niveles medios. Un CAPPI de niveles medios-altos tendría una zona de máxima reflectividad sobre el área de no eco en CAPPI's más bajos y justamente encima de una zona de fuerte gradiente en capas bajas.

Dinámica de una SP

Aunque en los apartados siguientes daremos unas nociones básicas sobre algunos de los aspectos mostrados a continuación, queda lejos de las intenciones de este pequeño artículo mostrar las sólidas bases teóricas y el denso soporte físico-matemático sobre los que descansa la dinámica de Supercélulas, materia que en los últimos 10 años ha avanzado considerablemente, gracias, fundamentalmente, a la incesante investigación de un gran número de científicos en EEUU. Sin embargo, en esta somera introducción al mundo de las SP, quedaría un enorme hueco si no hiciéramos mención, aunque sólo sea de forma taquigráfica, de la secuencia de los principales procesos dinámicos que llevan a la formación, desarrollo y mantenimiento de una Supercélula (existiendo previamente inestabilidad suficiente para la convección profunda y un mecanismo de disparo apropiado) y que se relacionan con los siguientes aspectos:

- 1- Existencia de un entorno previo de moderada cizalladura vertical del viento (>20-25m/s.) y generación de vorticidad horizontal (sfc-3Km).
- 2- Transformación de la vorticidad horizontal en vorticidad vertical por "*tilting*" o inclinación de la "*updraft*".
- 3- La "*updraft*", o corriente ascendente, poseerá una rotación neta si el flujo de aire que alimenta la tormenta presenta una componente de vorticidad "*streamwise*" (paralela al vector vorticidad horizontal), y no presentará rotación neta si ese flujo presenta fundamentalmente vorticidad "*crosswise*" (perpendicular a dicho vector).
- 4- Caracterización de un ambiente dominado por cizalladura vertical del viento, sin giro con la altura (cizalladura unidireccional) o con giro (cizalladura direccional añadida).
- 5- En caso de que haya giro, estimación de la helicidad relativa a la tormenta (SRH), o más recientemente (R. Thompson, R. Edwards, 2006) de la helicidad efectiva relativa a la tormenta (ESRH) en función, ésta, de la profundidad de la capa de entrada de flujo, es decir, de la base efectiva y tope efectivo de la capa de flujo de entrada que realmente alimenta la tormenta ("*effective inflow layer*").
- 6- Procesos de "*stretching vortex tube*" (un vez inclinado el vórtice, estiramiento del mismo en la vertical y contracción en la horizontal, aumentando su velocidad de rotación para conservar el momento angular) en la corriente ascendente en rotación conducen a la generación de rotación máxima en niveles medios.
- 7- Esta rotación favorece la creación de un gradiente vertical de presión (NHVPGF "*Non- Hydrostatic Vertical Pressure Gradient Force*") que supone un 50% del aporte a la velocidad vertical en la corriente ascendente (flotabilidad el otro 50%). Esta fuerza añadida hace que se produzcan SP's en entornos sin una inestabilidad/flotabilidad muy marcada.
- 8- Dos teorías contrapuestas para explicar los procesos de rotación/propagación: Lineal/Helicidad (R. Davies-Jones) versus No-lineal/Cizalladura (R. Rotunno & Weissman).
- 9- En el caso de hodógrafa recta, generación de un "*Storm Splitting*" con dos miembros simétricos: ciclónico (derecho, "R") y anticiclónico (izquierdo, "L"). Pueden progresar a SP uno, los dos o ninguno; climatológicamente, en el hemisferio norte, suele hacerlo el miembro ciclónico. El "*Storm Splitting*", como ejemplo paradigmático de la formación de Supercélulas, se explica más detalladamente en el apartado siguiente.
- 10- En el caso de hodógrafas curvas, generación de una Supercélula ciclónica (giro del viento "*clockwise*" con la altura) o anticiclónica (giro del viento "*anti-clockwise*" con la altura). La generación de un gradiente horizontal de presión hacia el flanco exterior tiende a favorecer el desarrollo del miembro ciclónico o anticiclónico en su caso.
- 11- Propagación perpendicular de la SP a la derecha (ciclónica) o izquierda (anticiclónica) del vector cizalladura medio del viento (0.5-6 Km.).
- 12- Transmisión-descenso de la rotación de niveles medios a niveles bajos. Varias teorías enfrentadas para su explicación.
- 13- Generación de la corriente descendente del flanco trasero (RFD "*Rear Flank Outdraft*") en respuesta a la rotación en niveles bajos. La RFD puede ser "calida", favorable a la aparición de tornados o "fría", no favorable.
- 14- Fase tornádica y colapso de la Supercélula. La RFD ocluye la entrada de flujo ("*inflow*") en la base de la nube.
- 15- Disipación de la SP o generación de una nueva corriente ascendente (mesociclón) en el flanco correspondiente si las condiciones iniciales del punto 1 siguen siendo favorables, en ese caso puede ayudar la aparición de vorticidad baroclina generada en la frontera entre el frente de racha conjunto de la FFD y RFD y el flujo alimentador con presencia de vorticidad "*streamwise*".

Ideas básicas sobre la rotación de la corriente ascendente

Como hemos comentado anteriormente, el hecho diferencial que hace a las SP diferentes de las demás tormentas, es que tienen una corriente ascendente que rota verticalmente. Esa rotación es la causa de que sean tan "longevas", tan sólidas y de que, eventualmente, generen los tornados más intensos que se conocen o que produzcan enormes piedras de granizo de un tamaño de hasta 17cm. diámetro. El origen de esa rotación es algo complejo, pero básicamente conocido, se fundamenta en la existencia previa de unas capas de aire en los bajos niveles de la troposfera, entre 0 y 3Km, que presentan rotación en el eje horizontal (vorticidad horizontal) fig.5 y fig.6. Como hemos visto la transformación de la rotación horizontal en rotación vertical la lleva a cabo la corriente ascendente (updraft) de la tormenta, fig.7. Si ésta corriente es lo suficientemente intensa (inestabilidad-flotabilidad) 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.8, 9 y 10.

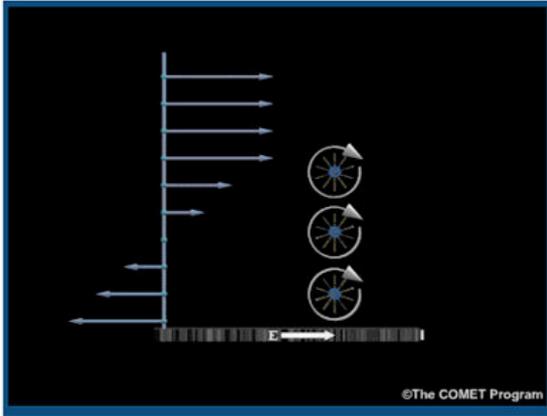


Fig.5

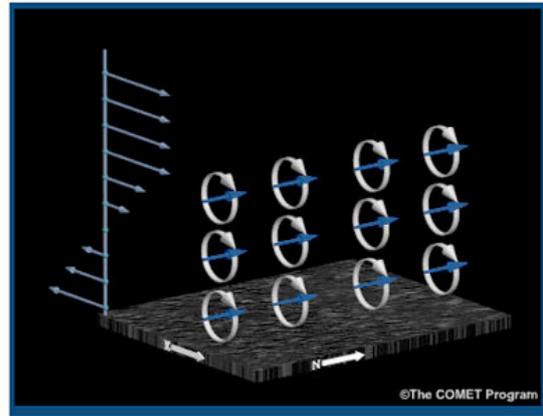


Fig.6

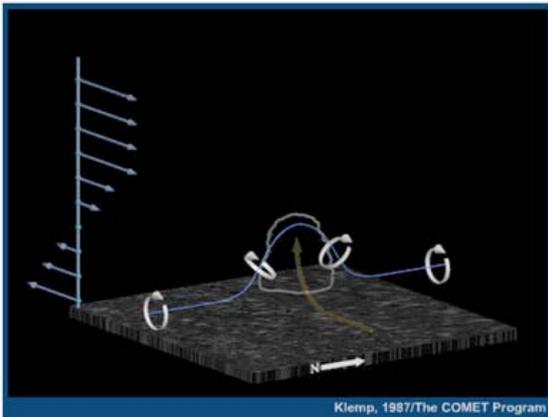


Fig.7

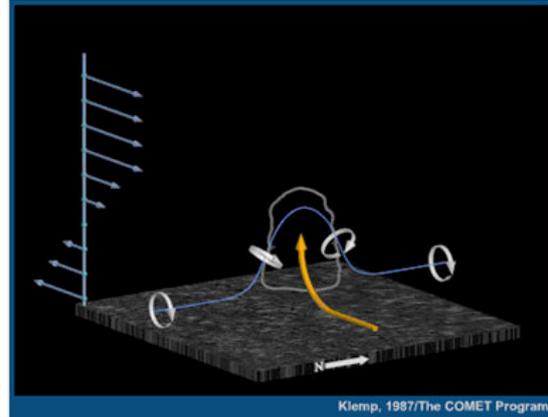


Fig.8

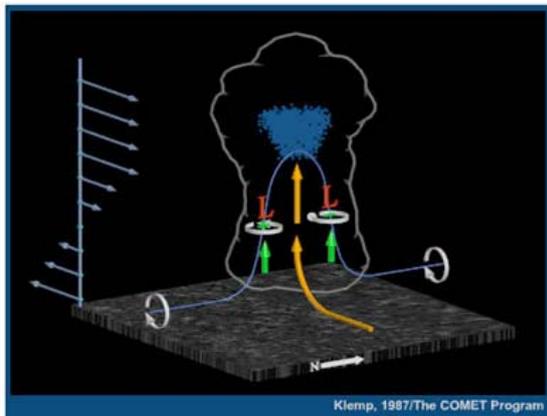


Fig.9

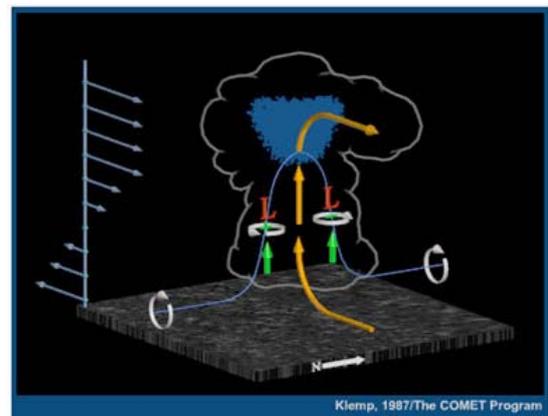


Fig.10

Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training (COMET) of the University Corporation for Atmospheric Research. Copyright © 1999 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

¿Cuál es el origen de la rotación horizontal inicial de las figuras 5 y 6? 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.11 podemos ver esto más fácilmente. Las flechas de viento van aquí todas hacia la derecha, pero aumentando en intensidad según ascendemos. Si pusiésemos en medio de este flujo una rueda con aspas como la mostrada, ésta giraría en el sentido de las agujas del reloj, es decir que rotaría en el eje horizontal. Por el contrario, si el viento fuese igual a todos los niveles, como muestra la figura 12, la rotación horizontal no existiría o desaparecería. Las aspas de la rueda, en este caso, no se moverían.

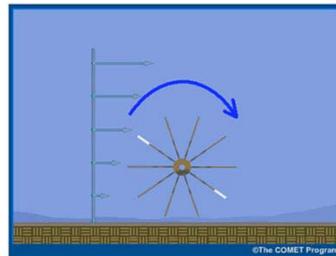


Fig.11

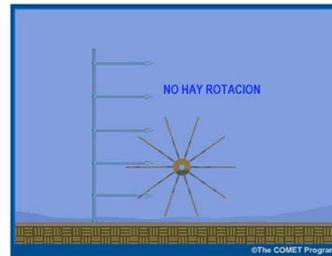


fig.12

El aumento o cambio en la velocidad de viento con la altura se llama **Cizalladura**. La dirección del viento puede cambiar también con la altura o no, a esto también se le llama Cizalladura. En las figuras 5 a 10 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 11 y 12, es la misma en todos los niveles. Cuando la dirección del viento no cambia básicamente en toda la vertical considerada se le llama **Cizalladura Unidireccional**. La cizalladura unidireccional observada en las fig.5 a 12, produce rotación con eje horizontal, decimos que el entorno posee **Vorticidad Horizontal**. Una vez que surge una vigorosa corriente ascendente y se introduce en una zona donde existe cizalladura unidireccional del viento, inclina los "rodillos" horizontales mencionados (fig. 5 y 6) hasta enderezarlos completamente y ponerlos verticales (fig.7 y 8). Desde ese momento la corriente ascendente rota, y decimos que posee **Vorticidad Vertical**.

Es, sin embargo, en el tipo de vorticidad horizontal dominante en el entorno, o realmente en el tipo de vorticidad que alimenta en niveles bajos a la tormenta en su camino o trayectoria, una vez comienza a desviarse o a propagarse anómalamente, donde se encuentra la clave fundamental para que la tormenta progrese o no definitivamente a Supercélula. La **Vorticidad "streamwise"** fig.13, es el verdadero origen de la rotación en la corriente ascendente de una SP. La "*updraft*" poseerá una rotación neta si el flujo relativo de aire que alimenta la tormenta presenta una componente de vorticidad "streamwise" (paralela al vector vorticidad horizontal), y no presentará rotación neta si ese flujo relativo presenta fundamentalmente **Vorticidad "crosswise"** (perpendicular a dicho vector), ver fig.14. Los dos son casos extremos, lo normal es que las tormentas que progresan a SP tengan mayor componente de vorticidad "streamwise" que de vorticidad "crosswise", fundamentalmente porque en el primer caso la velocidad vertical y la vorticidad vertical están fuertemente correlacionadas, generándose, por tanto, una rotación neta en la corriente ascendente.

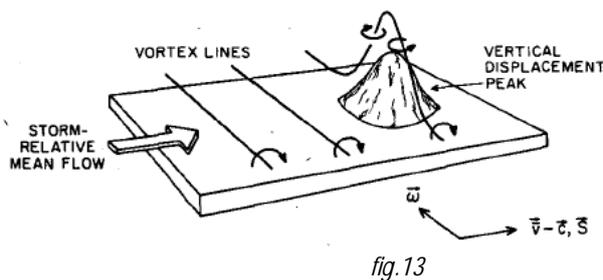
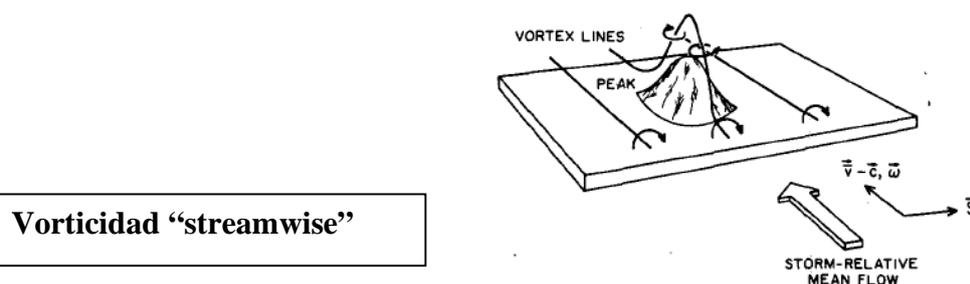


fig.13

Vorticidad "crosswise"



Vorticidad "streamwise"

fig.14

El "Storm-Splitting", paradigma de la formación de una Supercélula

Siguiendo de la fig.10 la evolución de nuestra nube y como se puede observar en la figura 15, la "updraft" genera dos vórtices contrapuestos, uno gira ciclónicamente (el de nuestra izquierda) y el otro anticiclónicamente (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 que erosiona y divide a la "updraft" en dos partes, ver fig. 16.

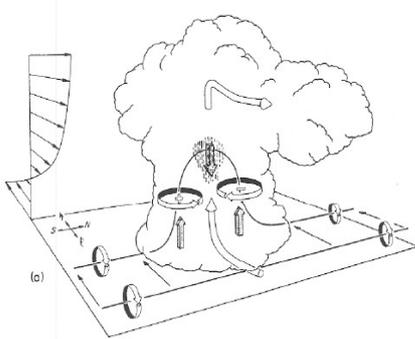


fig. 15

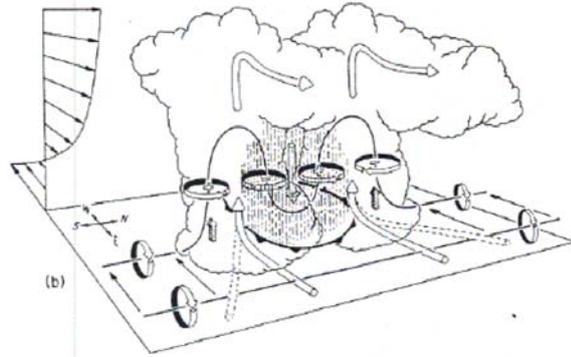


fig.16

En ese momento se produce lo que se conoce como un "Storm-Splitting", quedando dividida la célula inicial en dos células simétricas, una con una corriente ascendente que presenta rotación ciclónica (a nuestra izquierda en la figura, flanco derecho de la tormenta) y otra con una corriente ascendente que presenta una rotación anticiclónica (a nuestra derecha en la figura, flanco izquierdo de la tormenta).

En la siguiente fotografía se muestra un caso de Storm-Splitting ocurrido en la frontera Madrid-Guadalajara el 7-Sep-2004.



fig.17. Fotografía J.A.Quirantes (miembro ciclónico derecha en la foto, miembro anticiclónico a la izquierda)

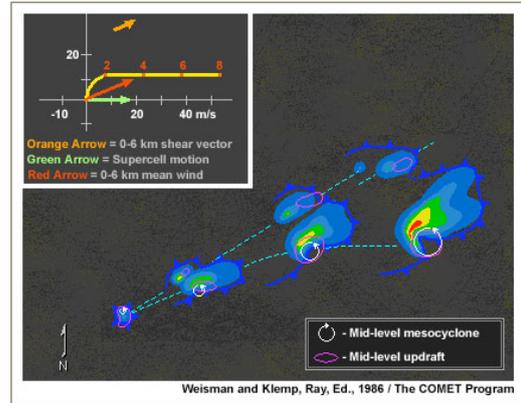
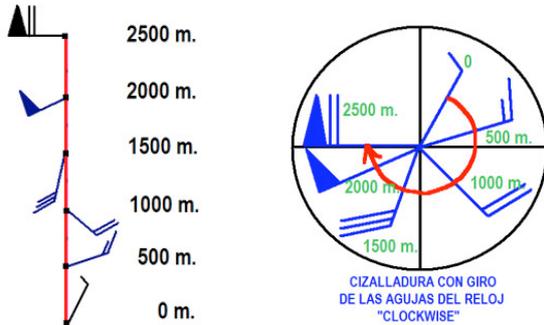
En las siguientes figuras (18 a la 20), se han representado los tres principales casos de cizalladura vertical del viento:

- 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.
- 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 18a, 18a y 18a se han representado la distribución de la velocidad y dirección del viento para la capa de los primeros 2,5 Km. para los tres casos mencionados. En las figuras 19b, 19b y 19b 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, el sur abajo, el este a la derecha y el oeste a la izquierda. En el caso de cizalladura "clockwise", fig. 18b, 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. 19b, el viento varía al revés que en el

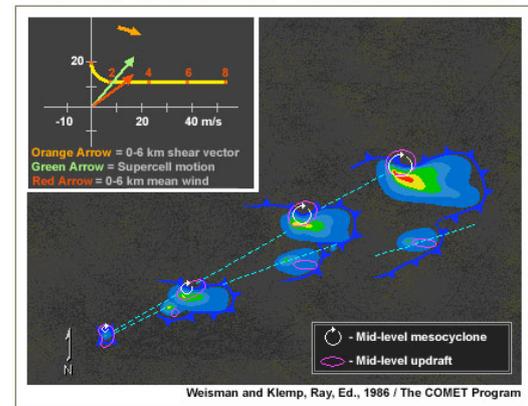
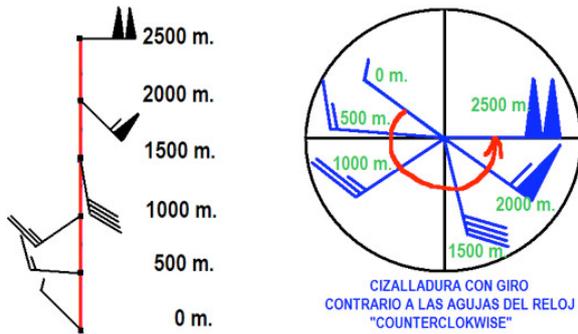
caso anterior, es del NW a 0m., del WNW a 500m., del SW a 1000m., del SSE a 1500m., del SE a 2000m. y del E a 2500m. Va variando de abajo a arriba, en sentido contrario al giro de las agujas del reloj.

CASO DE CIZALLADURA "CLOCKWISE"



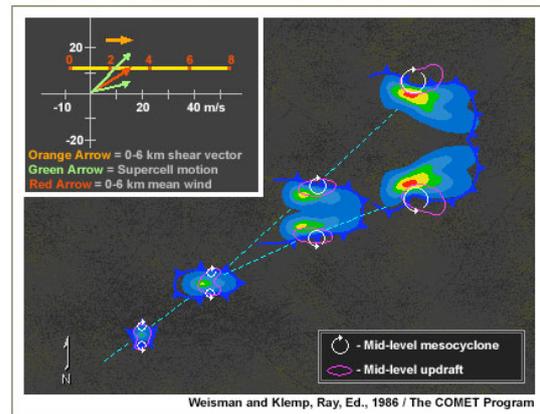
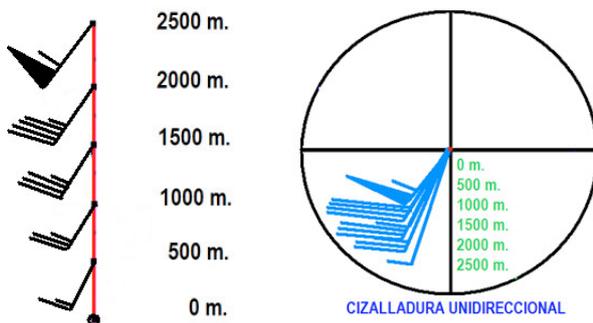
figuras 18a, 18b y 18c. Caso de cizalladura "clockwise".

CASO DE CIZALLADURA "COUNTERCLOCKWISE"



figuras 19a, 19b y 19c. Caso de cizalladura "counterclockwise".

CASO DE CIZALLADURA UNIDIRECCIONAL



figuras 20a, 20b y 20c. Caso de cizalladura unidireccional.

La magnitud que cuantifica este giro con la altura de la dirección del viento para un volumen dado se le 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)**. Éste es uno de los índices más importantes a la hora de pronosticar la posible aparición de Supercélulas, pues es en realidad se trata de una medida de la componente de **vorticidad "streamwise"** que tiene el flujo que alimenta a la tormenta en capas bajas (o en una capa efectiva **SRHE**) y por tanto de la capacidad para generar rotación neta en la corriente ascendente. Por último, el tercer caso, fig. 20b, muestra la misma dirección del viento a todos los niveles, es decir, **cizalladura unidireccional**.

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 (en rojo a la izquierda de la fig. 21), que como se ve en la fig. 22 está favorecido por una fuerza del gradiente de presión vertical de abajo a arriba y por otra en sentido horizontal y diferente para cada nivel, 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 que la atraviese, una rotación con sentido ciclónico. Resultado: Se genera una **Supercélula Ciclónica** con un Mesovortice ciclónico o **Mesociclón**.

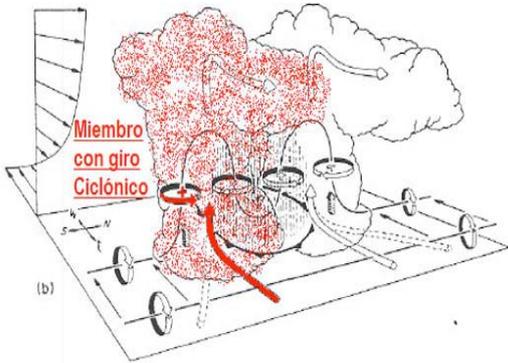


Fig. 21

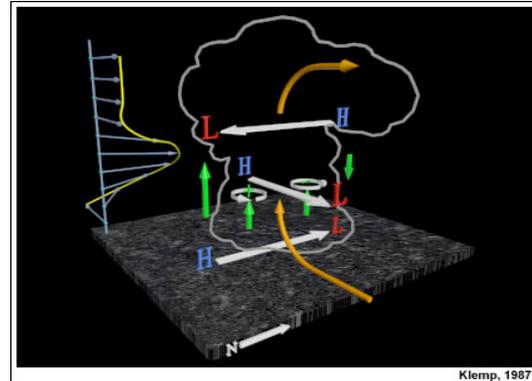


Fig.22

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 (en azul a la derecha en la fig. 23), que como se ve en la fig. 24 está favorecido por una fuerza del gradiente de presión vertical de abajo a arriba y por otra en sentido horizontal y diferente para cada nivel, 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 que la atraviese, una rotación con sentido anticiclónico. Resultado: Se genera una **Supercélula Anticiclónica** con un **Mesoanticiclón**.

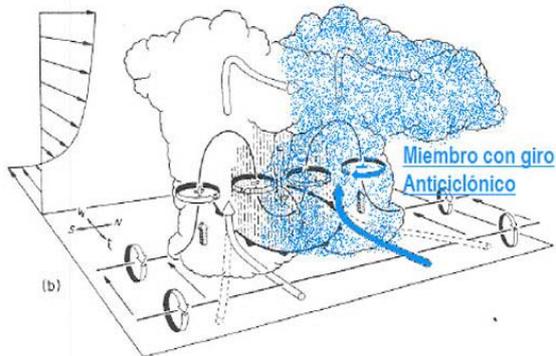


fig.23

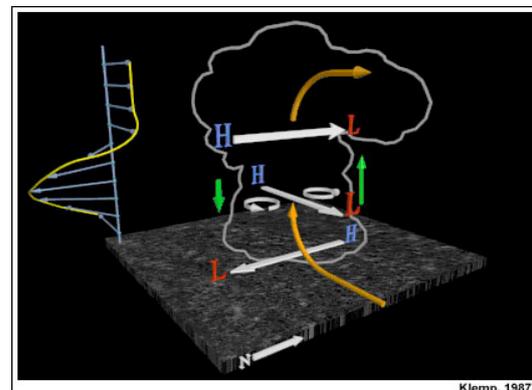


fig. 24

En el caso 3- Cizalladura **Unidireccional**, ninguno de los dos miembros se favorece y progresan dos células simétricas como imágenes especulares la una de la otra. Inicialmente puede presentar cierta rotación y comportarse como Supercélulas, una ciclónica y otra anticiclónica, pero las posibilidades de sobrevivir son menores que en los casos anteriores.

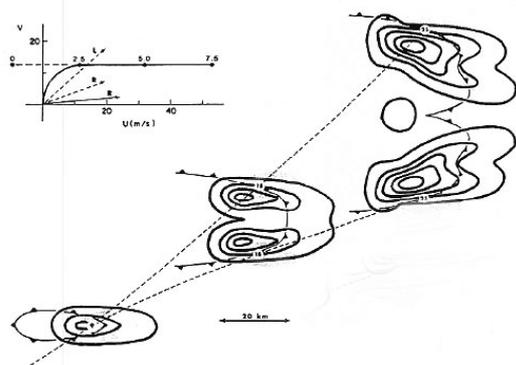


fig. 25

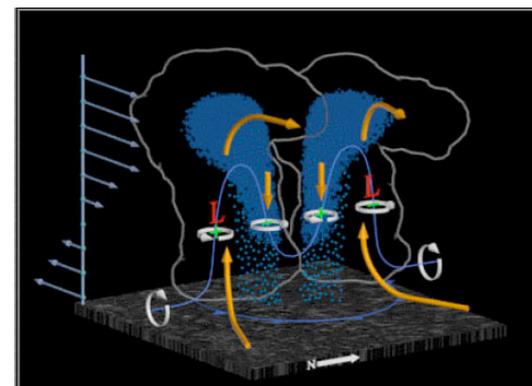
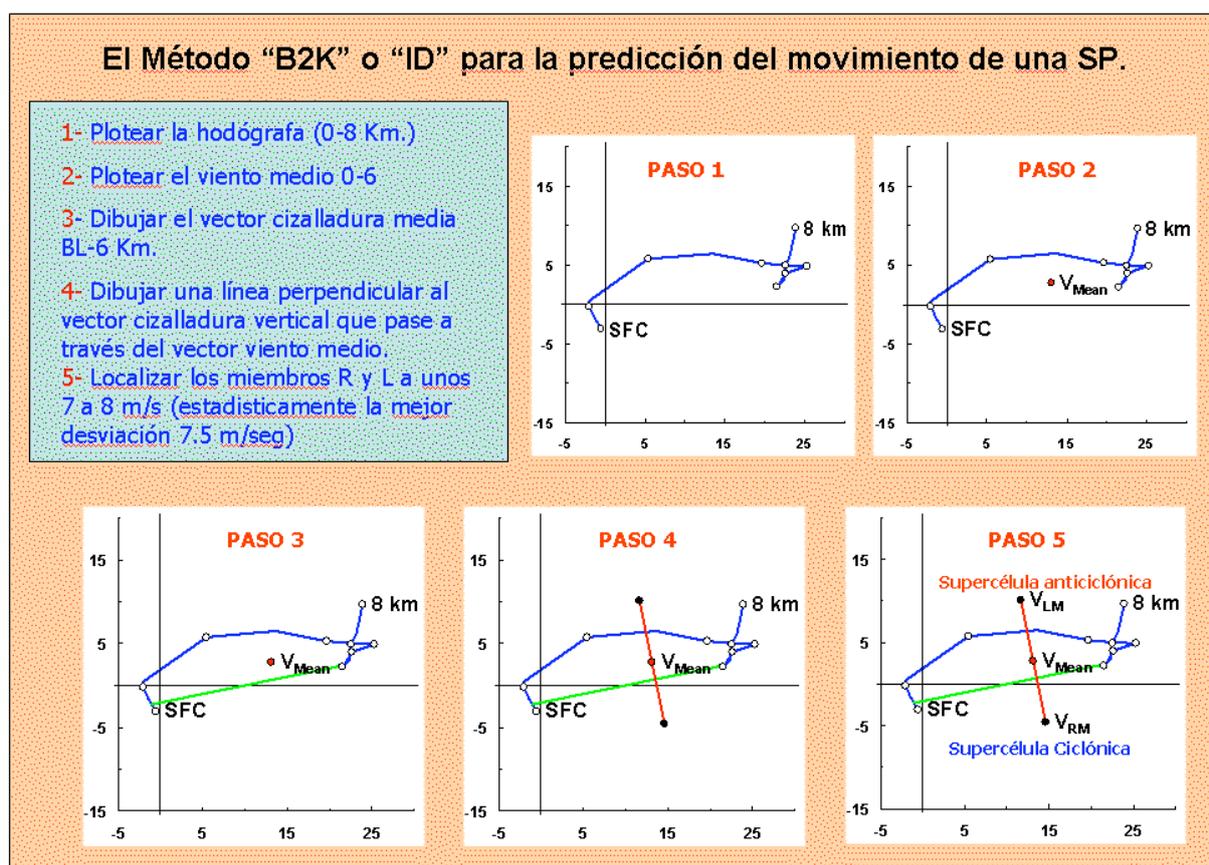


fig. 26

Anticipando el Movimiento de una Supercélula, técnica "B2K".

Una predicción razonable del movimiento de una SP conduce a una mejor predicción de la zona que va a ser afectada por tiempo severo en los avisos locales de fenómenos adversos, especialmente durante los estados iniciales del ciclo de vida de la Supercélula (por ejemplo cuando una tormenta está comenzando a dividirse en dos: "*Storm-Splitting*"). Los estudios de modelización realizados desde la década de los 80 (e.g., Weisman and Klemp 1986), los estudios de campo tales como el VORTEX ("*Verifications of the Origins of Rotation in Tornadoes Experiment*", Rasmussen et al. 1994), y los recientes estudios empíricos (Bunkers et al. 2000 o técnica "B2K") indican que el movimiento de las Supercélulas puede ser anticipado previamente con bastante éxito durante las operaciones de vigilancia de tiempo severo. La nueva técnica "B2K" o "ID" ("*Internal Dynamics*"), basada en un invariante Galileano, es actualmente la que predice con un menor error el movimiento de una Supercélula, tanto ciclónica como anticiclónica, en cualquiera de los cuatro cuadrantes en los que se sitúe la hodógrafa y es válida para los dos hemisferios. Ver figura 27.



Casos registrados en España.

Al contrario que en los EEUU, donde son muy frecuentes sobre todo en los meses de abril, mayo y junio, en Europa son relativamente raras, pero no tanto como se pensaba hasta hace poco, y en la Península Ibérica y Baleares el número aproximado de casos al año podría estar comprendido entre 6 a 8 por término medio, aunque este dato es meramente orientativo y deberá utilizarse solo como una primera aproximación. Si consideráramos también los mares adyacentes, la cifra podría elevarse, incluso, al doble de casos por año. En nuestro país, a pesar de su relativa frecuencia y a la gran cantidad de daños y pérdidas ocasionadas, existen pocos casos documentados, a excepción del estudio técnico del INM (STAP) de la Supercélula severa en el área mediterránea en octubre de 2001 (Martín F., Carretero O., San Ambrosio I., 2002).

Entre los años 2003 y 2007 se han producido varios casos singulares que resumimos en el cuadro de la figura 28 y situamos sobre un mapa en la figura 29. Téngase en cuenta que aquí no están todas las posibles Supercélulas acontecidas en nuestro país durante ese intervalo de tiempo, sino sólo aquellas de las que se ha tenido noticia, bien por sus efectos devastadores en superficie sobre alguna población, bien por haber sido comentada por algún "cazatormentas" en los foros de meteorología o bien por haber sido identificada por criterios más o menos objetivos en las imágenes radar del INM (aunque todavía no se dispone operativamente de un algoritmo de detección automática de mesociclones (MDA)).

Aunque no disponemos de ninguna climatología al respecto, parece intuirse de las figuras 25 y 26, que la mitad oriental de la Península, y la provincia de Teruel en particular, son las zonas donde se originan este tipo de tormentas con más facilidad, debido seguramente a la posibilidad de ofrecer con más frecuencia y simultáneamente los cuatro ingredientes mencionados necesarios para su formación y desarrollo que hemos comentado al principio del artículo.

Supercélulas identificadas en España en el período 2003-2007											
SP IDENTIFICADA					CARACTERÍSTICAS				EFECTOS SUPERFICIE		
Nº	Fecha	Provincia	Lugar	H	Tipo	Rot.	Mov.	Orig.	Tornado	Granizo	PCP
AÑO 2003 (4)											
1	23-Jul-03	Teruel	Alcañiz	4	CL	B	W-E	M	F3	9 cm.	12 mm.
2	16-Ago-03	Teruel	Alcañiz	3	HP	B	W-E	M	-	12 cm.	110 mm.
3	5-Sep-03	Alicante	Denia	8	CL	A	WSW-ENE	SP	Microrev.	lenteja	37 mm.
4	16-Oct-03	Murcia	Cabo Palos	5	CL	B	NW-SE	M	-	-	-
AÑO 2004 (9)											
5	6-Jun-04	Albacete	Higuera	2	LP	¿A?	SE-NW	U	F1	-	-
6	6-Jun-04	Cáceres	Las Hurdes	4	CL	A	E-W	SS	-	12 cm.	-
7	13-Jun-04	Jaén	Andujar	2	CL	B	N-S	M	Microrev.	Si	40 mm.
8	24-Jun-04	Teruel	Rubielos Mora	4	CL	B	NW-SE	M	-	-	-
9	28-Ago-04	Teruel	Corbalán	2	CL	B	NW-SE	U	F2	Si	-
10	3-Sep-04	Valencia	Puzol Náquera	8	HP	B/A	SW-NE	SCM	F1/F2	pelota golf	45 mm.
11	9-Sep-04	País Vasco	País Vasco	4	CL	B	SW-NE	M	-	Si	-
12	15-Sep-04	Mallorca	Valldemosa	7	CL	B	NW-SE	SS	F0/F1	-	31 mm.
13	19-Oct-04	Badajoz	Acedera	2	CL	B	SW-NE	U	F1/F2	-	-
AÑO 2005 (6)											
14	7-Feb-05	Almería	Almería	6	CL	B	SW-NE	M	-	10 cm.	-
15	4-Jul-05	Teruel	S	2	CL	B	N-S	U	-	Si	-
16	7-Jul-05	Teruel	SW	2	CL	B	NW-SE	SS	-	Si	-
17	8-Jul-05	Cuenca	SW	4	CL	B	NW-SE	SS	-	-	Inundac.
18	25-Jul-05	Castellón	Morella	2	CL	B	NW-SE	U	-	Si	-
19	31-Jul-05	Granada	NE	2	CL	B	NW-SE	SS	-	-	-
AÑO 2006 (3)											
20	22-Abr-06	Ciudad Real	Pedro Muñoz	3	HP	B	SSW-NNE	U	.	Si	110 mm.
21	7-May-06	Zaragoza	Zaragoza	3	CL	B	W-E	M	F1	-	-
22	27-Jun-06	Teruel	Calamocha	3	CL	B	W-E	M	.	4 cm.	40 mm.
AÑO 2007 (19)											
23	4-May-07	Córdoba	Córdoba	1	Mini	B	NE-SW	U	-	-	25 mm.
24	23-May-07	Ciudad Real	Alcázar S. Juan	4	HP	B	S-N	U	-	5 cm.	240 mm.
25	5-Ago-07	Valencia	Aras Alpuente	1	CL	B	W-E	U	-	-	-
26	26-Ago-07	León	S	2	CL	B	S-N	SS	-	12 cm.	-
27	17-Sep-07	Zaragoza	E	1	CL	B	W-E	SCM	-	5 cm.	-
28	17-Sep-07	Huesca	De W a E	1	CL	B	W-E	SCM	-	5 cm.	-
29	21-Sep-07	Barcelona	Alta mar	3	CL	B	NNW-SSE	SS	-	-	-
30	1-Oct-07	Badajoz	Almendralejo	2	CL	B	W-E	M	-	Si	75 mm.
31	1-Oct-07	Badajoz	Villanueva Serena	2	CL	B	W-E	M	-	Si	-
32	4-Oct-07	Murcia	E Cabo Palos	3	HP	B	W-E	SCM	-	-	-
33	11-Oct-07	Almería	Mar de Alborán	1	CL	B	NW-SE	U	-	-	-
34	19-Oct-07	Almería	Mar de Alborán	1	CL	A	E-W	M	-	-	-
35	28-Oct-07	Murcia	SE Cabo Palos	2	CL	B	E-W	SCM	-	-	-
36	28-Oct-07	Almería	Mar de Alborán	1	CL	B	NE-SW	M	-	-	-

H= Horas de ciclo de vida
TIPO: CL= SP clásica HP=SP de alta precipitación LP= SP de baja precipitación
GIRO: B=Giro Ciclónico A=Giro Anticiclónico
ORIGEN: U= Unicélula M=Multicélula SS="Storm Splitting" SCM=Sistema Convectivo Mesoescala

fig.28 Cuadro de presuntas Supercélulas en España, período 2003-2007

El cuadro de la figura 28 se ha dividido en tres apartados principales para cada uno de los 36 casos mostrados, "SP-IDENTIFICADA", "CARACTERÍSTICAS" y "EFECTOS SUPERFICIE". El primer apartado ofrece la identificación de cada Supercélula, cada número de la primera columna de este cuadro coincide con los números superpuestos al mapa de la figura 29. La columna "Lugar" muestra la población a la que afectó inicialmente la SP o donde causó mayores daños, pero no están consideradas otras localidades que se interpusieran a lo largo de su trayectoria, que puede ser larga a veces, ya que como podemos ver por el tiempo (columna H) que duró su ciclo de vida, éste puede llegar incluso a las 8 horas. Es el caso de la SP (3) que el día 5 de Septiembre de 2003 se originó de madrugada en la confluencia de las provincias de Granada y Almería, continuando su movimiento hacia el NE para provocar un "Downburst" frente a las costas de Dénia (Alicante) al amanecer y continuar su "viaje" por el mediterráneo hasta disiparse a media mañana frente a las costas de Menorca.

En nuestro país, desde el año 2003, en que se ha seguido de cerca su formación, se han registrado tornados en 7 de las 36 Supercélulas consideradas, lo que concuerda aproximadamente con esa estadística comentada del 20% de las llanuras americanas, siendo uno de ellos de categoría F3, el que arrasó los campos de cultivo de Valdealgorfa y Alcañiz (Teruel) el 23 de Julio de 2003, tres han sido de categoría F1 o F2 y otros tres tornados de categoría F0 o F1.

Respecto al granizo, también hemos tenido registros de consideración. Justo tres semanas después de que Alcañiz y sus inmediaciones sufrieran los efectos de la mencionada Supercélula el 23 de Julio de 2003, el 16 de Agosto de ese mismo año, y sin que diera tiempo a que la localidad se recuperara del pedrisco caído, una nueva Supercélula de Alta Precipitación (HP) descargó nada menos que 118 litros por metro cuadrado de granizo en la población, destrozando la mayoría de los tejados del pueblo, las lunas de 300 coches aparcados y agujereando múltiples objetos de mobiliario urbano. Por todo ello fue necesaria la declaración de Zona Catastrófica para Alcañiz y su comarca, aprobándose el 20 de Septiembre de 2003 un real decreto por el que se concedían diferentes indemnizaciones para las personas, empresas o entidades afectadas. En esa ocasión las piedras de granizo llegaron a alcanzar los 12 cm. de diámetro y 500 gr. de peso.

En cuanto a la precipitación, la cantidad máxima de los registros mencionados corresponde a la SP de Alcázar de San Juan en mayo de 2007 con una medida de 240 mm. recogidos en apenas 4 horas, le siguen a prudencial distancia la mencionada granizada de Alcañiz y los 110 mm. registrados en Pedro Muñoz el 22 de Abril de 2006, totalizándose en este último caso nada menos que 60 mm. en tan solo 10 minutos !!! (una intensidad de precipitación de 360 mm./hora). Seguramente, en estos tres episodios, la tormenta se trató de una Supercélula de Alta Precipitación (HP).

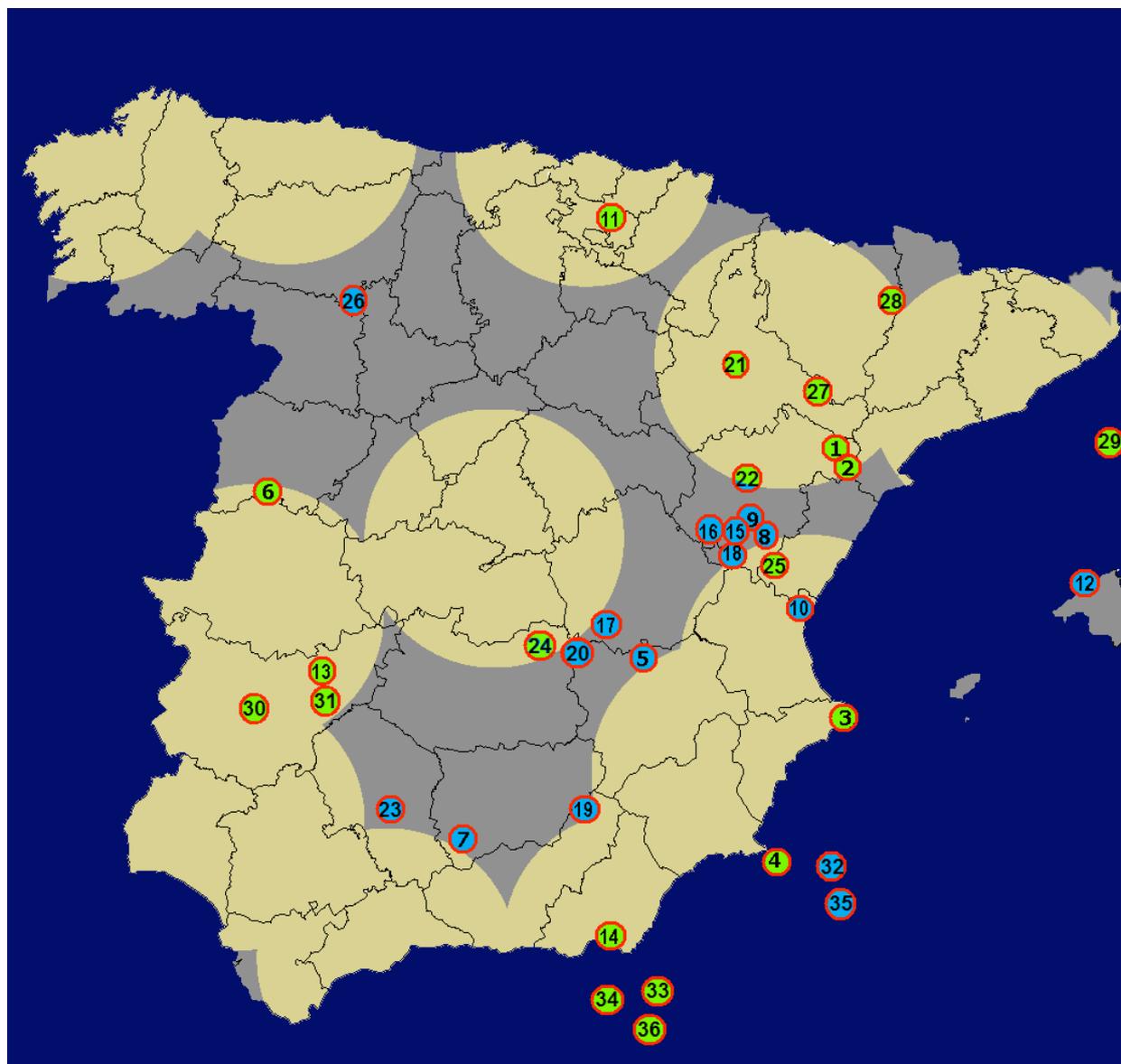


fig.29 Ubicación geográfica de cada caso y zona de cobertura radar en modo Doppler para cada radar INM. En verde, SP's a las que se ha detectado el Mesociclón en el viento Doppler. En azul, SP's fuera de cobertura del radar en modo Doppler.

Referencias:

- Bunkers M. J., B. A. Klimowski, J. W. Zeidler, R. L. Thompson, and M. L. Weisman, 2000: *Predicting supercell motion using a new hodograph technique*. *Wea. Forecasting*, 15, 61–79.
- Davies-Jones R., 1984: *Streamwise vorticity: The origin of updraft rotation in supercell storms*. *J. Atmos. Sci.*, 41, 2991–3006.
- Davies-Jones R. P. 2001, R. J. Trapp, and H. B. Bluestein, 2001: *Tornadoes and Tornadoic Storms. Severe Convective Storms*, Meteor. Monogr. No. 50, Amer. Meteor. Soc., 167-221.
- Davies-Jones R. P., 2002: *Linear and nonlinear propagation of supercell storms*. *J. Atmos. Sci.*, 59, 3178–3205.
- Elizaga F., Martín F., Carretero O., San Ambrosio I., 2001. *Diagnostico y Predicción de la Convección Profunda*. Nota Técnica nº 35 del STAP, Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción, INM, Ministerio de Medio Ambiente.
- Klemp J. B., 1987: *Dynamics of tornadic thunderstorms*. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 19, 369–402.
- Lemon L.R. and Charles A. Doswell III. 1979: *Severe Thunderstorm Evolution and Mesocyclone Structure as Related to Tornadoogenesis*. *Monthly Weather Review*. Vol. 107, No. 9, pp. 1184–1197.
- Markowski P., Christina Hannon, Jeff Frame, Elise Lancaster, Albert Pietrycha, Roger Edwards and Richard L. Thompson. 2003: *Characteristics of Vertical Wind Profiles near Supercells Obtained from the Rapid Update Cycle*. *Weather and Forecasting*. Vol. 18, No. 6, pp. 1262–1272.
- Martín F, Carretero O, San Ambrosio I., 2002, *Supercélula Severa en el área Mediterránea*. Nota Técnica STAP nº37. Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción, INM, Ministerio de Medio Ambiente.
- Martín F. y Riosalido, R., 1995: *Modelos Conceptuales a Mesoescala: Tormentas vistas por radar. Módulos de enseñanza por ordenador. TEMPOweb*. INM.
- Quirantes J.A., 2004: *Reportaje sobre los efectos del Tornado asociado a la Supercélula de Alcañiz (Teruel) del 23 de Julio del 2003*. Revista del Aficionado a la Meteorología (RAM) nº17, enero 2004.
- Quirantes J.A., 2007: *Supercélulas en España*. Boletín de la Asociación Meteorológica Española (AME) nº17, julio 2007 pp- 22-26.
- Quirantes J.A., 2007: *Supercélulas, identificación visual y características radar*. XIII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè, novembre 2007. pp- 135-147.
- Ramsay H.A. Doswell III C.A., 2005: *A Sensitivity Study of Hodograph-Based Methods for Estimating Supercell Motion*. *Wea. Forecasting*, 20, 954-970.
- Rasmussen. E. 2003: *Refined Supercell and Tornado Forecast Parameters*. *Weather and F.*: Vol. 18, No. 3, pp. 530–535.
- Rasmussen E., Robert Davies-Jones, Charles A. Doswell Jr., Frederick H. Carr, Michael D. Eilts, Donald R. MacGorman, Jerry M. Straka and Frederick H. Carr. 1994: *Verification of the Origins of Rotation in Tornadoes Experiment: VORTEX*. *Bulletin of the American Meteorological Society*: Vol. 75, No. 6, pp. 995–1006.
- Rotunno R. and Klemp J., 1985: *On the Rotation and Propagation of Simulated Supercell Thunderstorms*. *Journal of the Atmospheric Sciences*: Vol. 42, No. 3, pp. 271–292.
- Thompson R.L., Roger Edwards, John A. Hart, Kimberly L. Elmore and Paul Markowski. 2003: *Close Proximity Soundings within Supercell Environments Obtained from the Rapid Update Cycle*. *Weather and Forecasting*: Vol. 18, No. 6, pp. 1243–1261.
- Thompson R. L. Mead C.M. Edwards R. 2007: *Effective Storm-Relative Helicity and Bulk Shear in Supercell Thunderstorm Environments*. *Weather and Forecasting*, 22, 102-115.
- Weisman M. L., and R. Rotunno, 2000: *The use of vertical wind shear versus helicity in interpreting supercell dynamics*. *J. Atmos. Sci.*, 57, 1452–1472.