

AREA DE PREDICCIÓN

SERVICIO DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y
PREDICCIÓN

EDICIÓN

2-Diciembre-1995

NOTA TÉCNICA Nº 25

REVISIÓN

-0-

**ESTUDIO DEL TORNADO
DE SIGÜENZA****ANÁLISIS DE LOS INGREDIENTES
PARA LA FORMACIÓN DE
TORMENTAS SEVERAS****Francisco Martín León(*)
Lucía de Esteban Jódar (**)
Ricardo Riosalido Alonso(*)*****S.T.A.P.******Servicio de Predicción Numérica****INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA
Subdirección General de Predicción y Vigilancia**

Estudio del Tornado de Sigüenza: Análisis de los ingredientes para la formación de tormentas severas.

Introducción.

El tornado de Sigüenza: Características

Elementos del entorno sinóptico y mesoescalar.

Análisis de los datos de teledetección previos al tornado: Satélite y rayos.

Análisis de los datos del radar de Madrid: Necesidad de adaptación de los modelos conceptuales en entornos operativos.

Conclusiones.

Bibliografía.

Anexos

Algunos campos derivados del modelo INM-LAM

RESUMEN


Durante el día 24 de Mayo de 1993 una parte de la península Ibérica se vio afectada por actividad convectiva concentrada al Este y sobre una frontera de niveles bajos orientada de NNE a SSW, situada en el centro de ella. Un conjunto de tormentas llegó a organizarse en una estructura lineal afectando, en su momento de máxima actividad, a la provincia de Guadalajara. Una de las células que conformaban el sistema generó un tornado que afectó a la ciudad de Sigüenza entre las 19:30-19:40 UTC. En este trabajo se van a analizar la cascada de los elementos, ingredientes o "actores" que dieron lugar a esta organización de la convección en la forma que lo hizo. Para ello se analizará el marco general de los acontecimientos, se hará especial hincapié en la información que nos pueden suministrar los datos disponibles de teledetección (satélite, radar y rayos) con objeto de discriminar elementos más sutiles que controlan el tipo y la estructura de la convección. Se estudiará la utilidad de los modelos conceptuales asociados a los fenómenos convectivos, su potencial uso para la comprensión de los procesos observados y la necesidad de ser adaptados a los entornos operativos de trabajo en función de las características de las herramientas empleadas. Se presenta una posible forma de trabajo operativo, mediante radar, para cuando el tipo de fenómeno a vigilar esté ligado a convección de tipo severa teniendo en cuenta el sistema radar disponible en la actualidad y las imágenes de vigilancia regional recomendadas.

Introducción.

Uno de los fenómenos que suelen servir de base para definir una tormenta como severa, y según la bibliografía americana, lo constituye la presencia de tornado(s) (Doswell, 1985). **La existencia de estos fenómenos**, de fuerte impacto social, **suele estar ligado a cierto grado de organización de la convección**, bien en supercélulas o en intensas estructuras multicelulares. A su vez estas estructuras se pueden desarrollar de forma aislada o embebidas en otras entidades con un mayor grado de organización, como son los Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM, desde ahora).

Los tornados han sido, y siguen siendo, una de las estructuras que más atención han provocado en la comunidad meteorológica, no sólo en el campo de la investigación pura sino también en las labores operativas de predicción por la potencialidad de los daños que pueden generar en bienes y personas. Constantes referencias se encuentran en la bibliografía americana e incluso, pero en menor medida, en la europea (Peterson, 1982).

En España existen referencias sobre la existencia de estos fenómenos de escala muy local pero la falta de datos, en todos los ámbitos, ha hecho imposible unos estudios significativos. Ha sido a partir de principios de los 90 cuando se han comenzado a estudiar y confirmar los indicios y trazas de campo de estos fenómenos (por ejemplo, Gayá, 1992). Con la puesta en funcionamiento y disponibilidad de nuevas herramientas de teledetección, especialmente el radar, se ha abierto una ventana esperanzadora sobre la posibilidad de detectar, seguir y predecir a muy corto plazo la existencia de estructuras tormentosas que pueden presentar algunas señales asociadas a severidad. La utilización de los modelos conceptuales de mesoescala correspondientes a los fenómenos convectivos pueden y deben servir para comprender mejor los mecanismos que intervienen y controlan dichos sistemas (Martín, 1995).

 La aparición de un tipo de convección no es un hecho aislado ni en el espacio ni en el tiempo sino más bien el resultado de un conjunto de procesos que en cascada se dan en la atmósfera, que van desde la propia escala sinóptica a la microescala, pasando por la mesoescala.

Cuando se ha previsto la posibilidad del desarrollo de la convección, durante las próximas horas, el siguiente cometido es el de evaluar la posible intensidad y tipo de fenómeno que se puede presentar. Una vez que comienza a aparecer, se debe prestar la máxima atención al nivel y grado de organización para averiguar la posible potencialidad de dar un tipo u otro de fenómeno en superficie (lluvias intensas, granizo, etc). Cada uno de estos pasos deben ser evaluados mediante **la utilización del concepto de ingredientes** (Doswell, 1995) que llevan a escena a un determinado tipo de fenómeno convectivo y son opuestos al desarrollo de otros (las tormentas eficientes se desarrollan en entornos opuestos a las de tipo severo).

Vamos a ver cómo se pueden poner en práctica las anteriores ideas junto con **los modelos conceptuales y teorías físicas básicas asociadas a la convección**, tomando como referencia este caso de estudio.

En este trabajo vamos a presentar, en primer lugar y brevemente, las características del tornado, el entorno sinóptico y mesoescalar en que se desarrollaron los acontecimientos

tomando como base los datos de 12 z (7:30 horas antes del tornado) , para pasar, y prestar la máxima atención, al análisis de los datos de teledetección con objeto de estudiar la estructura de las células convectivas, tanto en la fase previa a la generación del tornado como en la fase en la que afectó a Sigüenza.

El lector podrá consultar en los anexos finales un conjunto de figuras y textos, que complementan a lo comentado a lo largo de la nota técnica. Su inclusión no directa en los apartados correspondientes tiene por objeto no distraer la atención de lo que verdaderamente tiene importancia en este tipo de fenómenos mesoescalares de cierto impacto social: ambiente pre-convectivo horas antes de su inicio, detección, análisis y evaluación de sus posibles consecuencias inmediatas, con las herramientas de teledetección actualmente disponibles en el INM.

El tornado de Sigüenza: Características.

A últimas horas de la tarde del día 24 de Mayo de 1993, un tornado afectó a la ciudad de Sigüenza. Este núcleo urbano se encuentra situado al norte de la provincia de Guadalajara, cerca de la vecina provincia de Soria y separado de ésta por un conjunto de montañas en las que el Sistema Central e Ibérico confluyen (Sierra de Barahona y de la Ministra). Desde estas montañas, de escasa altura, descienden un conjunto de subafuentes del río Henares con una clara orientación SW-NE. Vamos a pasar a describir las características y datos que fueron tomados por Miguel Gayá (comunicación personal), tres días después de los acontecimientos.

Según dichas informaciones el tornado tuvo lugar entre las 19:30 y 19:40 UTC (21:30 y 21:40 hora local). De los destrozos producidos en viviendas, edificios, monumentos, árboles, etc., se dedujo que el pico de viento máximo pudo alcanzar los 170 Km/h, por lo que correspondería a un tornado de tipo débil, según escala de Fujita (Fujita, 1973. Clase F1 con vientos entre 117-181 Km/h). Su movimiento fue de SSW hacia el NNE, prácticamente rectilíneo. Las dimensiones de las zonas dañadas abarcaron no menos de 250 m de diámetro y a lo largo de un corredor de 2-3 Km. El terreno rocoso de las zonas que rodean a la ciudad no permitió obtener otra información complementaria, aunque existen informes sobre la existencia de granizo de tamaño apreciable al NW de la trayectoria del tornado así como una subida rápida de temperatura anterior a la aparición de dicho fenómeno. Los daños se estimaron en más de 400 millones de pts del año 1993, afectando a gran parte del casco urbano. Afortunadamente no hubo que lamentar desgracias personales.

La relativa cercanía del sistema convectivo que generó el tornado al radar de Madrid y la disponibilidad de datos volumétricos de este sensor, hacen de este caso uno de los primeros que se pueda estudiar con ciertos detalles significativos.

Elementos del entorno sinóptico y mesoscalar.

Tomando como referencia las 12 z del día 24 tenemos que:

a) Ambiente sinóptico previo según los modelos numéricos.

El ambiente sinóptico de esta situación estuvo caracterizado por una situación de bloqueo que se mantuvo durante varios días bajo el influjo de un potente anticiclón que se situó sobre gran parte de la cuenca del Mediterráneo; por su parte y en niveles altos estaba dominado por una potente dorsal orientada de norte a sur y ubicada en la parte más occidental de dicho mar. Al NW de Galicia aparecía una depresión cuasiestacionaria que controlaba a las distintas masas nubosas que se acercaban por el Oeste de la península Ibérica y que no eran lo suficientemente espesas como para evitar el efecto del calentamiento diurno sobre las zonas terrestres. Estos elementos quedan reflejados en los análisis objetivos del LAM de las 12z del día 24/5/93, Fig 1a.

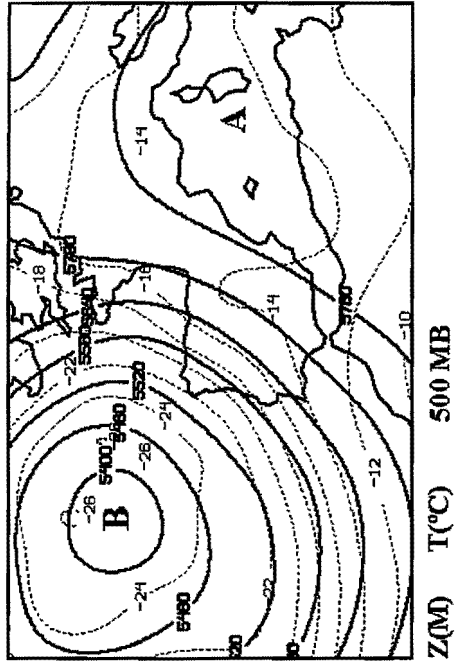
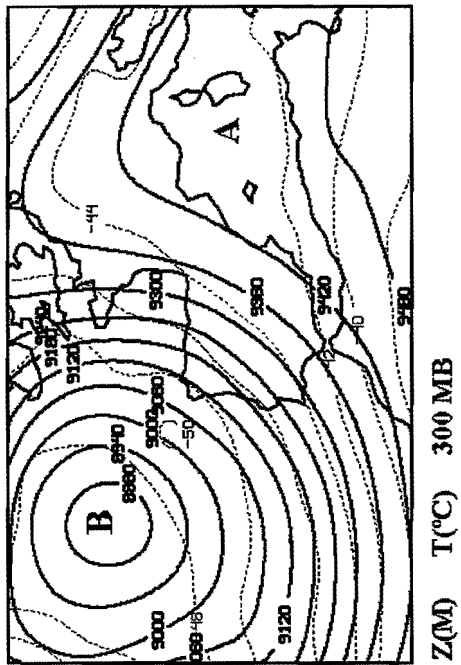
En estas condiciones las masas nubosas quedaban parcialmente retenidas sobre la península, sobre todo las de tipo bajo, mientras que las medias-altas proseguían su camino hacia el NE. Como consecuencia de este efecto de bloqueo, y a las 12 z del día 24, aparecen varios elementos significativos:

- Un fuerte contraste térmico en niveles bajos (850 y 1000 mbs) y orientado de norte a sur, que se refleja en los análisis objetivos del LAM del INM. El flujo del Sur que penetraba por Andalucía oriental y sur de Levante produjo una fuerte advección cálida en la parte oriental de dicha frontera, por lo que el forzamiento en niveles bajos fue muy significativo en estas horas.
- Una zona de mínimos de estabilidad potencial, que en forma de lengua muy definida, abarca toda la parte derecha de dicha discontinuidad térmica (ver Anexo I, salidas de modelo).
- Débil o nulo forzamiento dinámico en niveles medios-altos sobre toda la península (Anexo I).
- Cizalladura vertical del viento significativa: vientos del S o SE en niveles bajos de 15-20 Kt que pasar a SSW de 55-60 Kt en niveles superiores, en casi toda la parte oriental (ver sondeos de la zona más adelante y cortes específicos en el Anexo I). La parte occidental estaba sometida al influjo de los vientos de SW en todos los niveles.

Con este marco, la zona más proclive al desarrollo convectivo quedaba situada al Este de la frontera que se observaba en 850 mbs y que se ponía de manifiesto en las imágenes VIS de satélite del mediodía, Fig 2, que serán comentadas con posterioridad. Otros elementos o ingredientes debieron intervenir para que la convección se organizará y se desarrollara de la forma que lo hizo. Los datos de superficie de estas horas y las imágenes del satélite Meteosat nos van a permitir observar a otros nuevos "actores".

b) Análisis de superficie de las 12 z y 18 z.

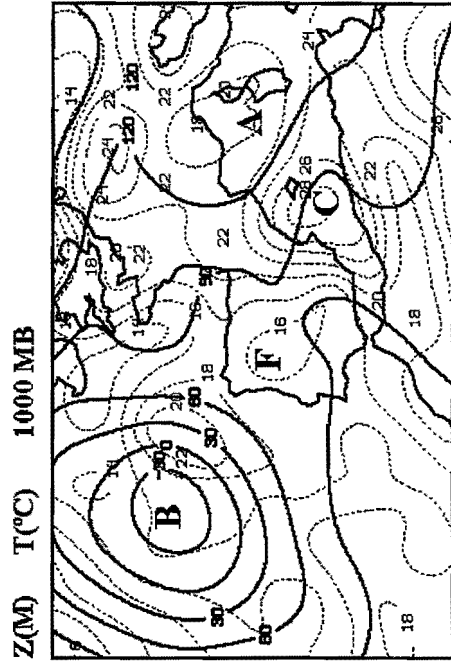
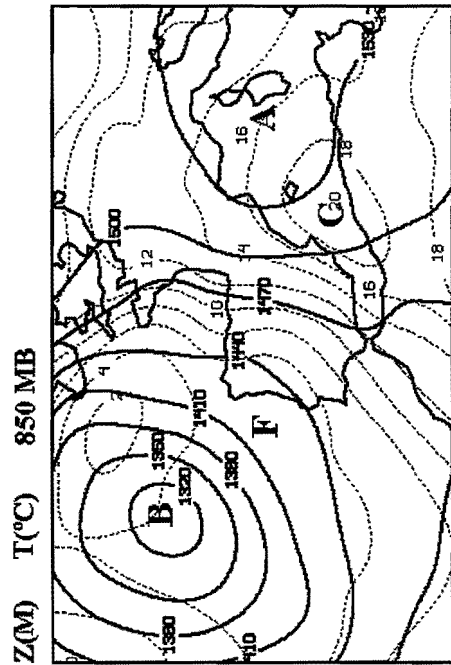
Los análisis de superficie de 12 z del día 24, Fig 1b, nos ponen de manifiesto varios elementos que pudieron favorecer y focalizar la convección en ciertas zonas. Hay que tener en cuenta el carácter montañoso del interior peninsular que dificulta el análisis de los



24/05/93 ANALISIS LAM
DE LAS 12 Z

Fig. 1.a

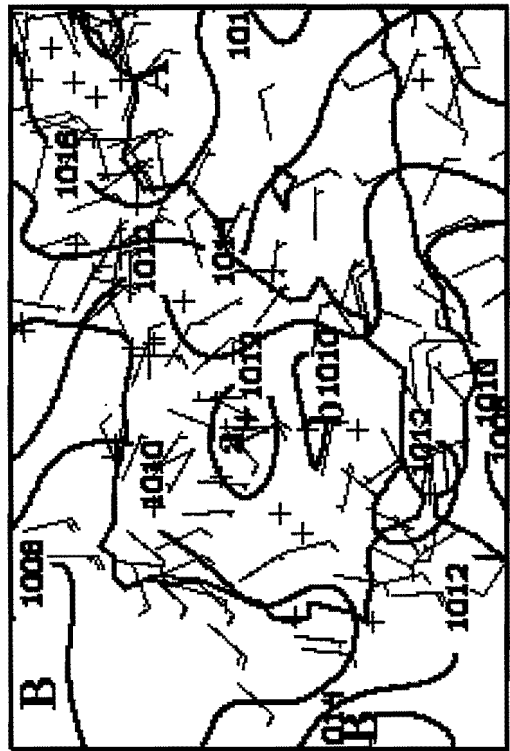
Z(M) ——— T(°C)
----- T(°C)



parámetros de superficie, así como sus variaciones espaciales. De cualquier forma podemos destacar los elementos más significativos que se podían observar:

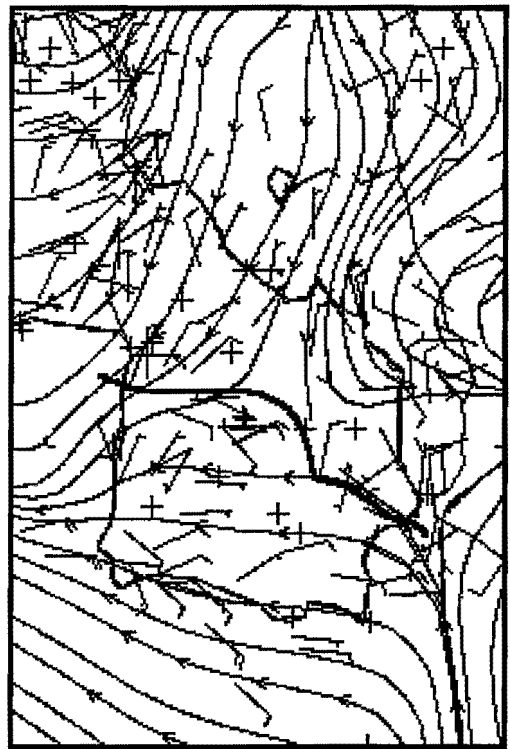
Como consecuencia de los sistemas de presión de mayor escala, a saber, Baja al NW de Galicia, Baja térmica del Norte de Africa y Altas presiones en la cuenca del Mediterráneo, se estableció un flujo del Este en la parte oriental de la península que fue reconducido hacia las dos bajas anteriormente mencionadas. Por otra parte el viento en la parte Oeste era predominantemente del Sur. Una línea de cambio de viento se puede dibujar atravesando la península de Norte a Sur con una inflexión en la zona Centro que era concordante con los sistemas de alta y baja mesoescalares en dicha zona y con el aumento del gradiente del campo de la THW en superficie, Fig 1b.

A las 18 z, Fig 1.c, los elementos más significativo en superficie eran: la existencia de una baja, centrada en el interior peninsular y el aumento en la intensidad de los vientos de componente Este que se focalizaron en la zona oriental de la península y que convergieron con los de componente SW que penetraban por la parte más occidental de ella. Aunque el sistema de presión y sus tendencias, en el interior peninsular, es similar al de la existencia de una baja de carácter térmico, los vientos en superficie no se comportaron como tal, ya que superaron en muchos sitios los 10 y 15 Kts, lejos de los valores asociados a las bajas térmicas estivales.

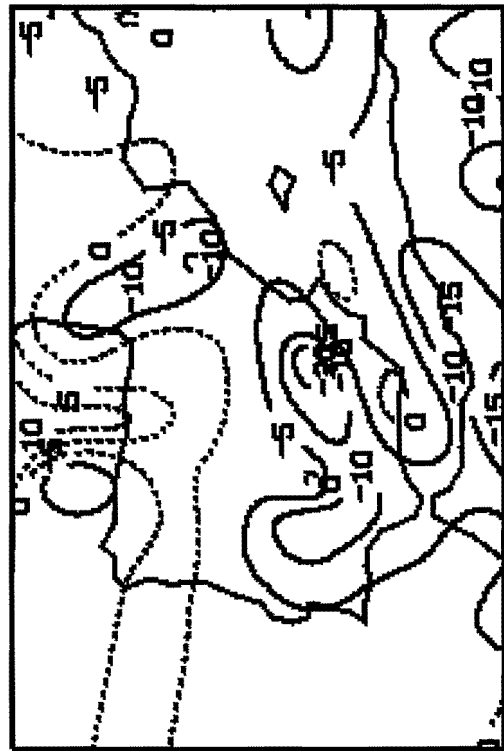


PSL(mb) WIN(Kt)

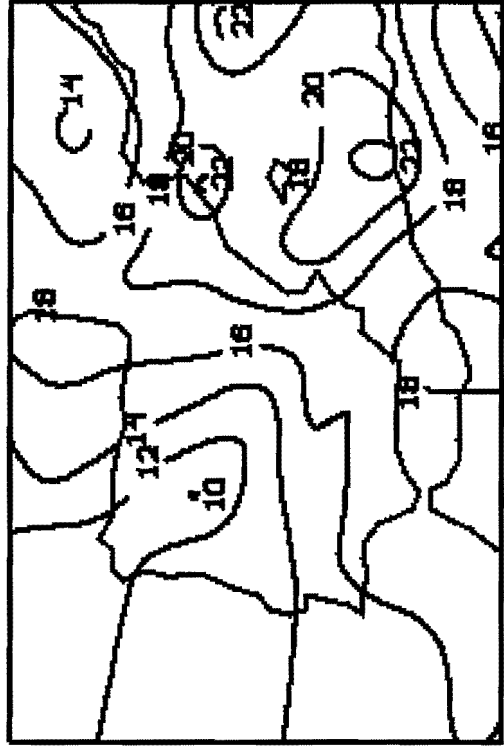
SFC 12 z 24/05/93



WIN(Kt) STR

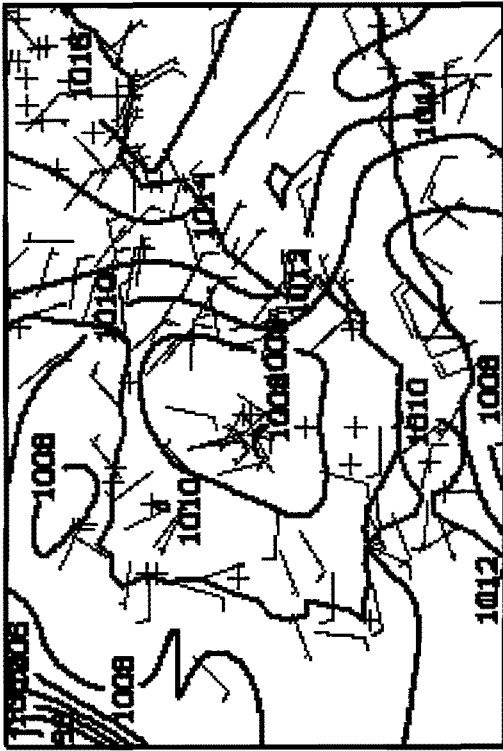


PT(mb x 10)



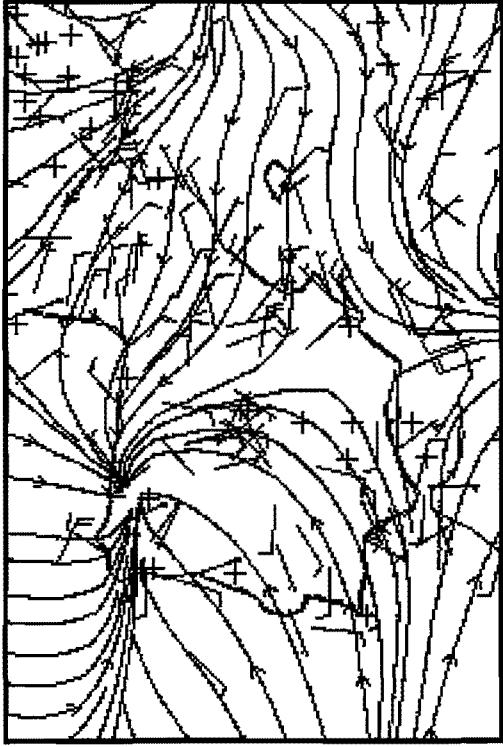
THW (°C)

Fig. 1.b

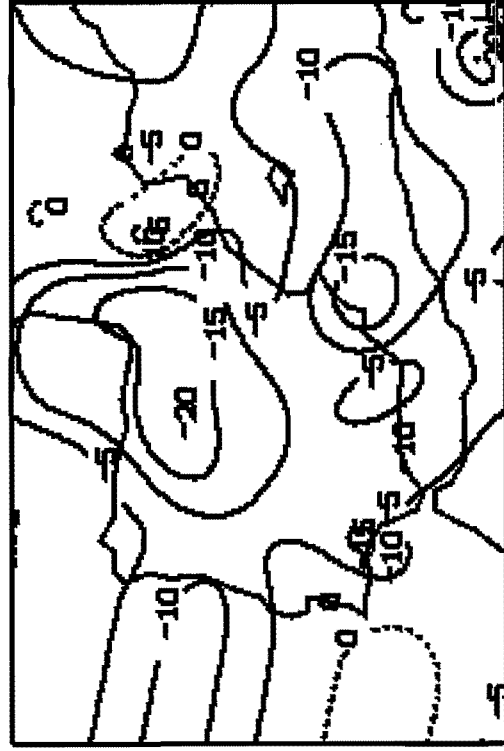


PSL(mb) WIN(Kt)

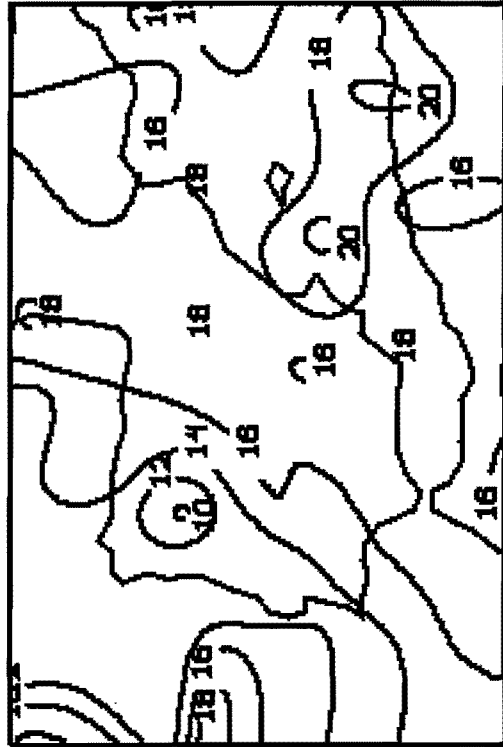
SFC 18 z 24/05/93



WIN(Kt) STR



PT(mb x 10)



THW (°C)

Fig. 1.C

Análisis de los datos de teledetección previos al tornado.

Algunos de los elementos que condicionan la forma en que se desarrolla la convección se pueden detectar mediante las herramientas que en la actualidad disponemos. Pasaremos a utilizarlas con los modelos conceptuales apropiados.

Elementos fundamentales pre-convectivos.

Los modelos numéricos operativos nos suministran el marco general donde se pueden desarrollar ciertos fenómenos convectivos: áreas con inestabilidad, flujo en diferentes niveles, intensidad y tipo de forzamiento sinóptico, etc. Otros elementos más sutiles que suelen controlar la convección no están reflejados en las salidas numéricas operativas con el grado de precisión espacial y temporal deseado de forma que para varias situaciones similares, según los modelos numéricos, las predicciones, y los fenómenos meteorológicos correspondientes, suelen ser muy distintas.

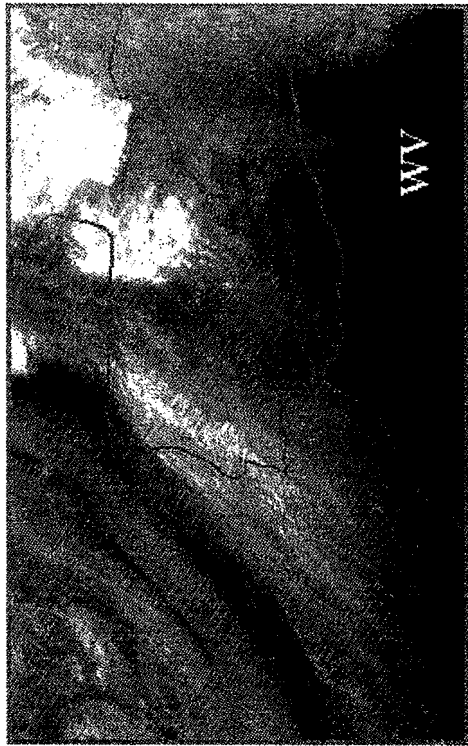
Observando las imágenes de satélite, Fig 2, podemos ver la presencia de una vaguada móvil en altura (en las imágenes de WV e IR) que atravesaba la península en las horas diurnas. Estaba caracterizada, en las imágenes de WV, por la estructura típica y reconocible, con una zona oscura en su borde trasero, asociada a una **entrada relativamente seca** en niveles medios-altos. Esta perturbación no estuvo reflejada en las salidas numéricas del LAM de niveles altos (ni previstos, ni en los análisis objetivos más cercano, 12 z del día 24). El panel inferior derecho refleja una imagen compuesta de los principales elementos sobre la península. OA denota la onda en altura a la que se hizo alusión con anterioridad

Por otra parte la actividad tormentosa, que durante las primeras horas de la tarde se desarrolló en las zonas más orientales de la frontera de niveles bajos, se debió en parte al papel del calentamiento diurno y no estuvo dificultada por la perturbación de altura. Estas tormentas se caracterizaron por **la presencia anómala de más rayos positivos** que negativos, Fig 3a. Todos ellos estaban asociados a células convectivas en sus primeras fases de desarrollo. Además estas estructuras tormentosas estuvieron sobrevoladas por la vaguada en altura, y en particular, coincidiendo con el momento del comienzo de la actividad convectiva por la zona relativamente más oscura.

Debemos tener en cuenta que la parte trasera de una vaguada móvil de altura suele ser una región relativamente seca, o lo que es lo mismo, una zona definida por unos valores relativos bajos de temperatura potencial en niveles medios-altos. Además el forzamiento sinóptico débilmente negativo o nulo de parte trasera de dicha vaguada, no fue lo suficientemente intenso como para inhibir la convección que ya se estaba desarrollando, probablemente debido a la fuerte inestabilidad atmosférica que ya existía en dichos momentos y que se reflejaba claramente en cualquiera de los productos radar .

Estos elementos (número relativamente elevados de rayos positivos en focos convectivos, desarrollo en zona oscura-seca de una vaguada móvil de altura) son importantes para inferir las posibles características del ambiente mesoescalar donde se desarrolló la convección:

-Cizalladura vertical de viento significativa. El número elevado de rayos positivos



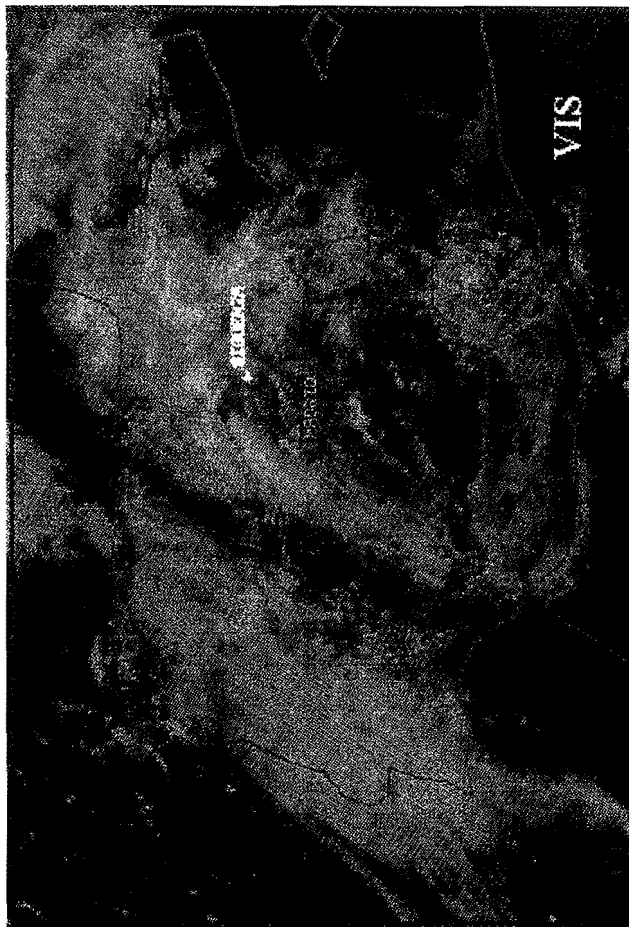
WV

**IMAGENES
METEOSAT**

**24/5/93
12 Z**



IR



VIS

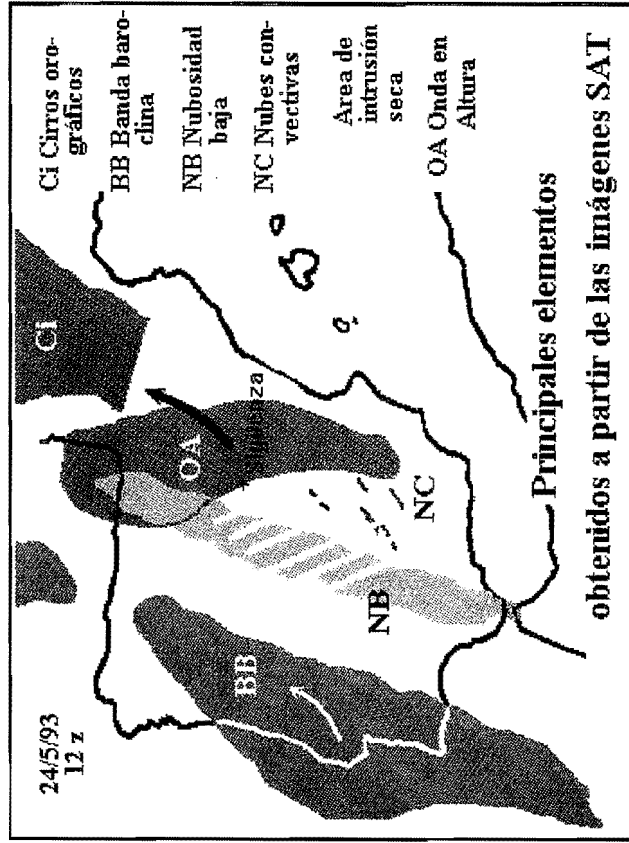


Fig. 2

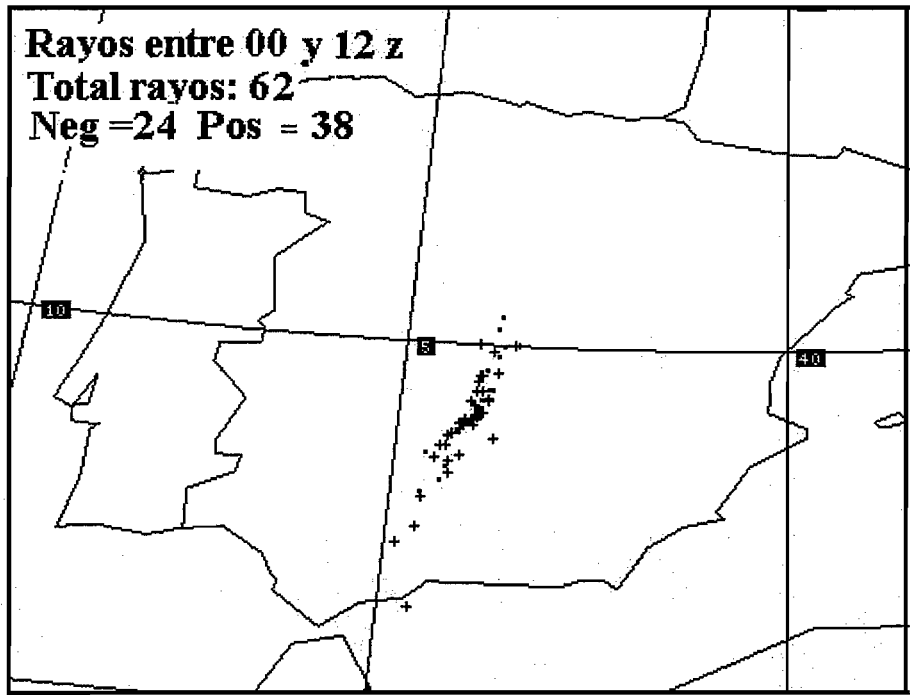
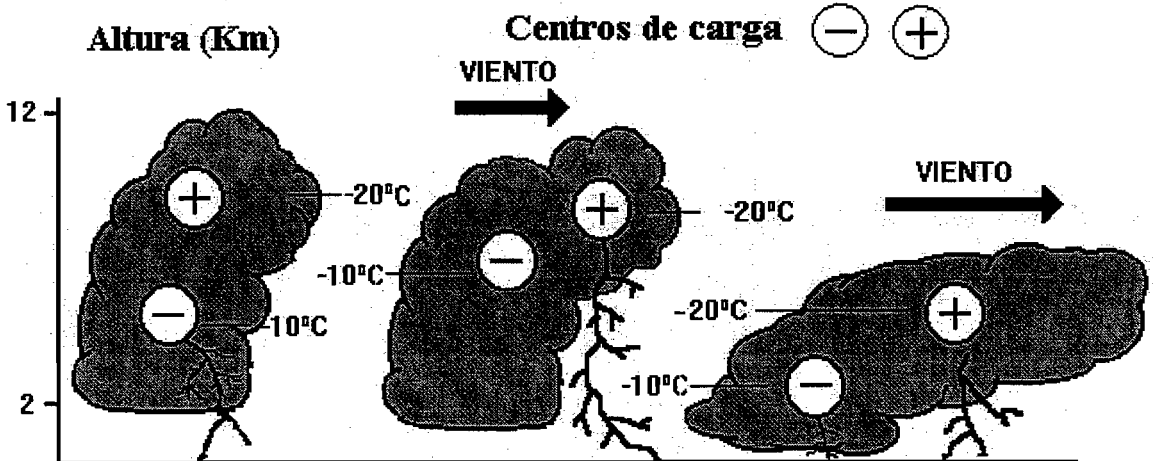


Fig. 3.a

Fig. 3.b

**CENTRO DE CARGAS PRINCIPALES
Y LA CIZALLADURA DEL VIENTO**



Sin Baroclinidad
(muy debil cizalladura)

Con Baroclinidad
(moderada o fuerte cizalladura)

- mayor número de neg. que de pos.
- escaso número de positivos
- aumento relativo de pos. en fase de disipación.
- los centros de carga están casi en la vertical. El centro de cargas pos. es apantallado por el de neg.
- típicas tormentas de masas de aire.

- aumento relativo de pos. en los momentos iniciales. Los centros de cargas están desplazados en la vertical.
- en el caso de tormentas severas el centro de cargas negativas tiende a elevarse.
- en estación fría los topos nubosos son más bajos que en la estación cálida.

puede explicarse gracias al modelo conceptual que se observa en la Fig 3b. en ella podemos observar el papel de la cizalladura del viento a la hora de separar los centros principales de carga negativa y positiva. La cizalladura vertical fue confirmada posteriormente por los datos de viento del sondeo de Madrid, Fig 4.

-Intrusión seca de niveles medios-altos y su acoplamiento con, y sobre, zonas donde el calentamiento diurno y la advección de temperatura en niveles bajos era muy marcada. Estos hechos producen un aumento de la inestabilidad convectiva debido a procesos diferenciales que tienen lugar en distintas capas: zonas de alta temperatura potencial en niveles bajos sobrevoladas por otra de valores inferiores (en el Anexo I existe un corte vertical de RH y WIN donde se observa la sequedad existente en niveles medio-altos, sobre una zona relativamente más húmeda).

-Fuerte inestabilidad convectiva capaz de superar el forzamiento negativo de niveles altos: focos convectivos se estaban desarrollando en la parte trasera de la vaguada de altura. Por otra parte, el efecto opuesto estaba teniendo lugar en capas bajas: advección cálida muy marcada en niveles inferiores.

El sondeo de Madrid de las 12 z, Fig 4, nos confirma la presencia de esta capa seca en niveles medios-altos, a diferencia del obtenido en Zaragoza que refleja la llegada de la zona húmeda de la perturbación de altura. Ambos nos ponen de manifiesto la cizalladura vertical del viento en esos momentos, centrado en la troposfera baja-media, y la concordancia con lo observado en las imágenes de WV en relación con la capa seca y húmeda que se encuentran en la parte posterior y anterior de la vaguada, respectivamente.

Por lo tanto la resolución vertical de la humedad, temperatura y viento (cizalladura e intensidad), suministrada por los sondeos próximos a una zona potencial al desarrollo de la convección, constituyen otro elemento a tener en cuenta a la hora de analizar el tipo de convección que se puede disparar.

El forzamiento sinóptico de niveles medios-altos debió de ser nulo o negativo. Este hecho puede ser significativo, si se dan los anteriores ingredientes para el desarrollo de la convección, pues evita que sea de tipo generalizado y poco intensa; por lo que la atmósfera liberó toda la inestabilidad en sitios o lugares específicos desarrollándose de forma localizada e intensa.

☞ Todos estos elementos son favorables a la formación de tormentas de tipo **severo** más que de tipo eficientes, ya que en el entorno preconvectivo se observan importantes **ingredientes: fuerte inestabilidad convectiva, capa seca en niveles medios-altos y cizalladura vertical del viento**. Todo ello concentrado en una zona donde la convección era más probable para su desarrollo.

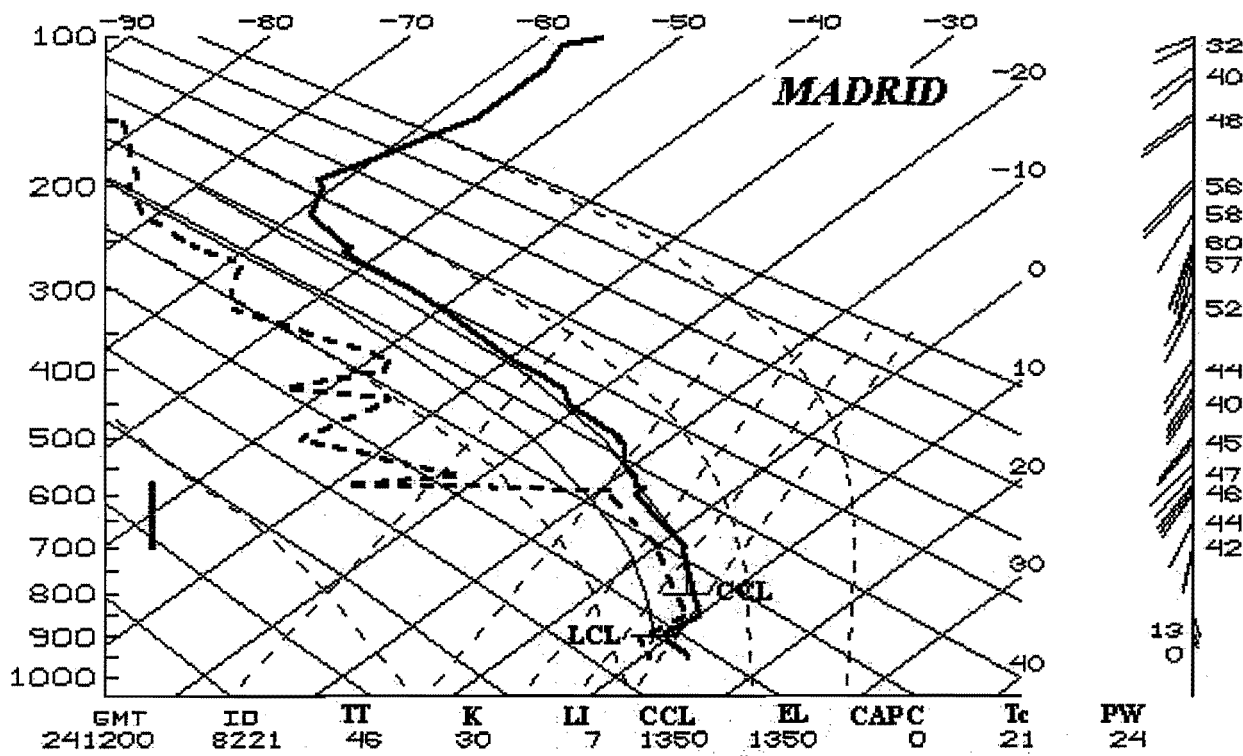
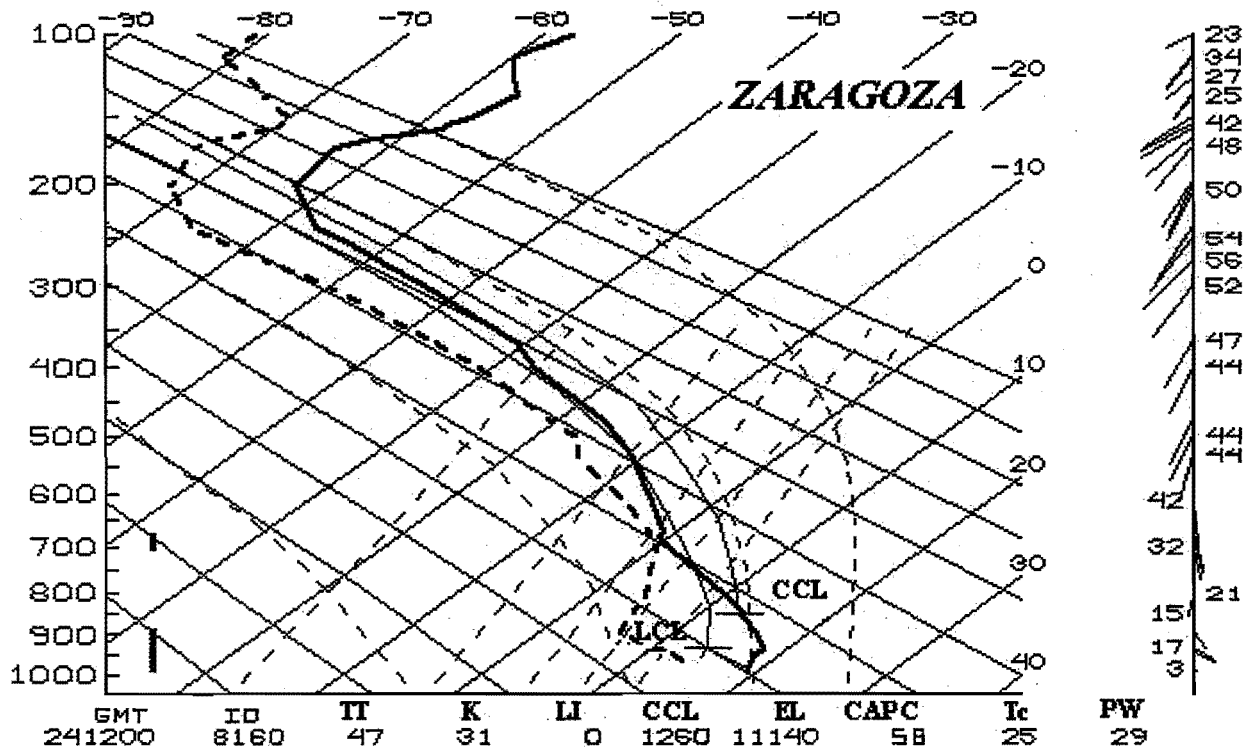


Fig. 4




Análisis de los datos de radar de Madrid.

El radar de Madrid esta situado al Sur de la provincia. Se trata de un radar de banda C (con una longitud de onda aproximada de 5 cm). La anchura del haz es de 0.96° y su elevación más baja es de 0.5° , tanto en modo Normal como modo Doppler. Este radar toma datos volumétricos, en forma polar, cada 10 minutos en modo Normal y posteriormente el sistema genera un Volumen Cartesiano a partir del primero, utilizando una técnica de interpolación a cuatro puntos. Los ecos de tierra son eliminados por una máscara de ecos de tierra y los datos finales son representados a partir de los 12 dBZ, cuando se visualizan los datos de reflectividad. Existen 11 CAPPIs disponibles en diferentes niveles (el último CAPPI a más de 15 Km de altura sobre el radar) y la exploración más baja, con una resolución en la representación de $2 \times 2 \text{ Km}^2$.

Varios minutos después se realiza una única exploración, a 0.5° , en modo Doppler de la cual se pueden extraer y visualizar tres magnitudes: reflectividad, velocidad radial y turbulencia. La resolución espacial de los datos Doppler es mayor que la tomada en modo Normal. Esta toma de datos también se realiza cada 10 minutos.

Hay que resaltar que la zona donde ocurrieron los acontecimientos, respecto al radar, es un área donde el efecto de los ecos de tierra no es muy marcado. Tampoco lo es en cuanto al apantallamiento por obstáculos orográficos, por lo que la cobertura del sistema es relativamente buena. Vamos a pasar a analizar dichos datos.

 El peso y papel de los modelos numéricos, como elementos de partida para la predicción de la convección, deben ser ocupados paulatinamente por los datos de teledetección (las imágenes de satélite, datos de rayos y en particular por los datos radar) cuando **la convección ha comenzado a desarrollarse de forma apreciable**. Esta última herramienta nos permite analizar las estructuras tridimensionales, aspecto fundamental para detectar células potencialmente severas.

a) Detección de los primeros ecos en niveles altos y análisis de sus estructuras.

En este ambiente, y utilizando las imágenes del Zmaxhor/Zmaxver (la llamaremos ZMAX de ahora en adelante) recomendadas en la vigilancia regional, el radar de Madrid comenzó a detectar células intensas pero aisladas sin una organización definida en sus estructuras verticales, todas ellas al Este de la cobertura radar. Entre las 17:40-17:50 z, tanto el ZMAX y el Echotop muestran la incipiente existencia de ecos organizados en tres líneas paralelas entre sí y orientadas de NNE a SSW, muy próximas al radar, Fig 5, que se podían observar más nítidamente en el PPI Doppler por su mejor resolución (no mostrado aquí). La que ocupó la posición central fue la que más se desarrolló, absorbiendo la de su derecha, mientras la que se encontraba a su izquierda se disipó.

Sobre esta línea, y a las 18:20 z, comenzaron a desarrollarse núcleos convectivos muy intensos caracterizados por valores muy altos de reflectividad en niveles medios (50 dBZ a más de 5 Km de altura sobre las 18:20 a las 18:30 z), elevados echotops (del orden de 13 Km) y mostraron cierto grado de organización, ya que se agruparon en una estructura lineal sobre la única estructura que permaneció .

Las primeras señales potenciales de severidad han aparecido en niveles altos: la convección es muy profunda e intensa. Hay que hacer notar que la segunda generación de ecuaciones estadísticas de la NEXRAD (NEXT generation of weather RADAR, U.S.) usadas para la identificación de células potencialmente severas tienen como predictores más relevantes a todos aquellos que están ligados a los volúmenes, zonas, número de celdillas, etc que poseen intensos valores de reflectividad y que se encuentran por encima de los 4752 m (15000 ft) (Breidenbach, 1995).

Podemos resumir los principales elementos y detalles, de la Fig 5, que hacen referencia a la potencial severidad de las células en:

- La presencia de tres líneas de ecos ligadas a zonas de convergencia en una zona de fuerte inestabilidad, figura del ZMAX de las 17:40-17:50 z.
- La presencia de estructuras muy intensas y profundas, como puede observarse en los cortes verticales y echotops, de las células que se desarrollaron sobre la única línea que quedó de las tres anteriores, 18:10 -18:20 z .

b) Organización de la convección en un Sistema Convectivo de Mesoescala: Línea de turbonada.

A partir de estos momentos los acontecimientos se suceden de forma explosiva, desde las 18:30 z a las 19 z, presentando las siguientes características:

-Las imágenes IR muestran un crecimiento rápido y continuado de las áreas nubosas ligadas a los toques más fríos, Fig 6. El sistema dejó de tener las dimensiones de una simple célula tormentosa. La estructura en "V" se adivina en los momentos en que comienza a tener unas dimensiones apreciables, panel derecho en la Fig 6 e imagen IR de la Fig 7, ambas de las 19:30 z.

-Mediante los datos radar es posible identificar claramente 4 o 5 núcleos a lo largo de la estructura lineal.

El interés recae en detectar su grado de organización y la existencia o no de estructuras de tipo severo (multicélulas, supercélulas, etc), teniendo en cuenta sus modelos conceptuales ligados a la convección vistas por radar.

A las 18:40 z, el sistema ya tenía unas dimensiones claramente superiores a la de una simple tormenta. A esta hora las dimensiones del sistema, utilizando las señales radar, eran del orden de 10-30 Km en la dirección W-E, de 120-150 Km en dirección NNE-SSW y se detectaban echotops del orden de 13 Km. Se había formado y **organizado** en un SCM en forma de **línea de turbonada**, con un desplazamiento hacia el NNE. La zona ligada a la precipitación estratiforme también muestra una expansión en dicha dirección. Los toques de las nubes más frías se expanden con rapidez (dando lugar a la típica estructura en "V", ya mencionada), los rayos positivos asociados llegaron a superar incluso a los negativos en ciertos momentos, aunque en términos absolutos el número de rayos es muy bajo como se puede ver en la Fig 7 (ciclo de vida eléctrico según los rayos del sistema).

El hecho de organizarse en **línea de turbonada** nos debe hacer pensar en que existan

CICLO DE VIDA DE LA LINEA DE TURBONADA

Evolución de las Areas de los topes fríos
según datos IR de Meteosat

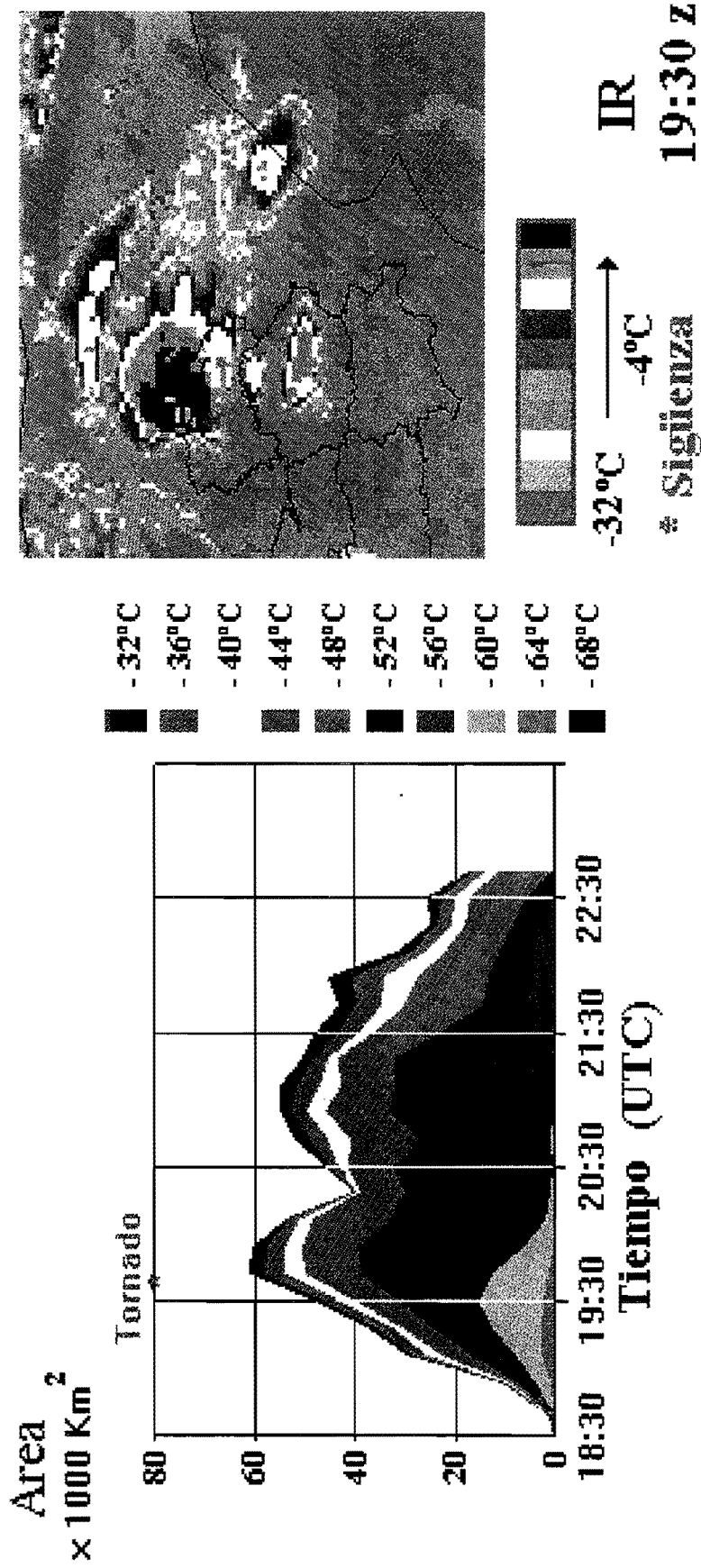


Fig. 6

EVOLUCION TEMPORAL DE RAYOS DE LA LINEA DE TURBONADA

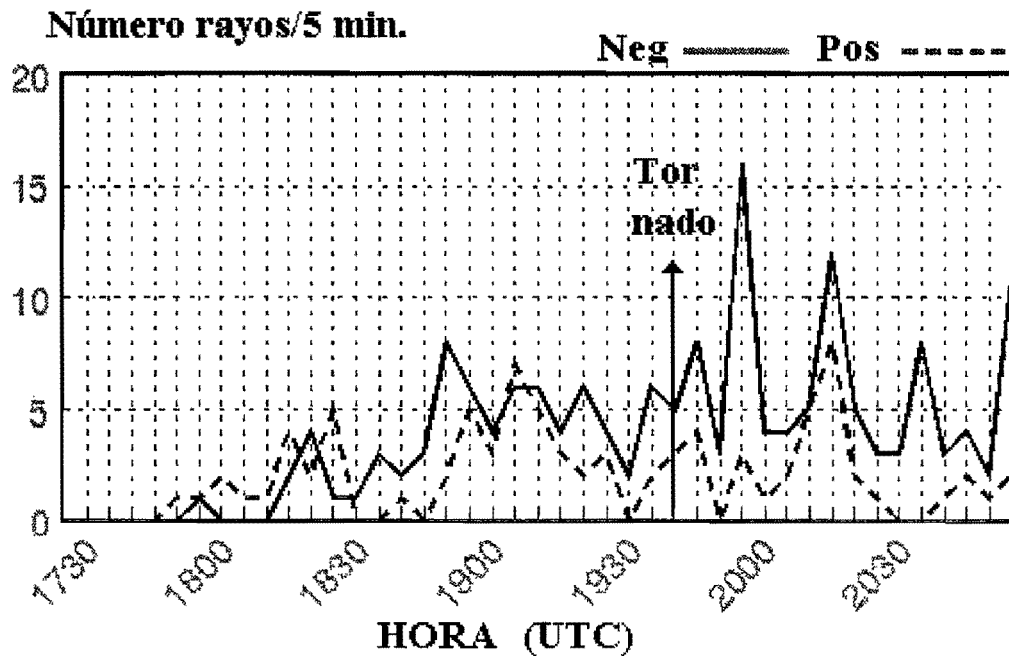
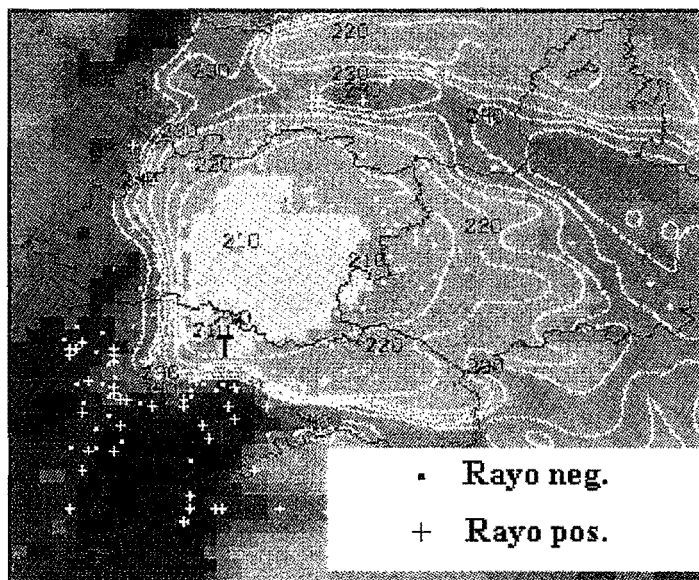


Fig. 7



"T" marca la
posición de
Sigüenza

Imágen IR del 24/5/93 a las 19:30 UTC, momentos
antes del tornado. Datos de la Temperatura de brillo
contorneado de 5 en 5 ° K

Rayos ploteados en el periodo 17-21 UTC

estructuras de tipo multicelular embebidas en el sistema. Este es el siguiente paso que debemos de confirmar.

c) Detección de la organización de la convección en estructuras de tipo severo dentro del SCM: Aplicación del modelo conceptual y cortes específicos verticales.

La organización de la convección en estructuras de mayor tamaño es un elemento importante a la hora de poder producir fenómenos significativos en superficie. Es el radar, en estos momentos, la herramienta fundamental para conocer la estructura tridimensional de las células y, por ello, nos puede ayudar a reconocer ciertos elementos trazadores e indicadores de posible severidad.

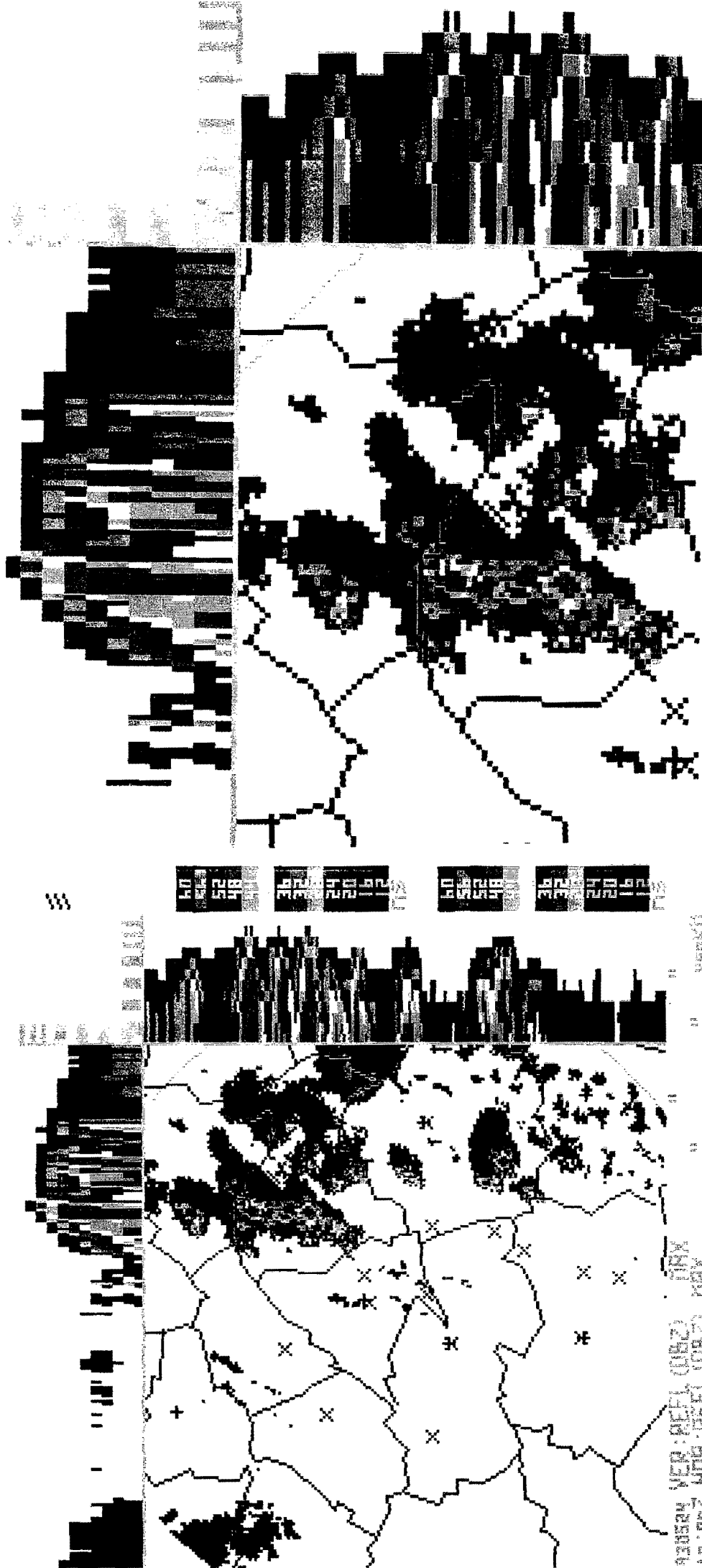
Los valores más intensos de reflectividad se observan en niveles medios de la troposfera en todas las células como consecuencia de las fuertes corrientes ascendentes que las generan y soportan (>50 dBZ, primer ingrediente de la convección severa: fuertes corrientes ascendentes). Estas también repercuten en los echotops, que eran más elevados que el resto de las células de alrededor. Estos "murallones" de altas e intensa reflectividad se comportan como verdaderos obstáculos para la señal del radar generando una zona de sombras detrás de ellos y según la radial que los une con el radar (el de Madrid es de banda C y por tanto sensible a los procesos de absorción a los fenómenos convectivos). Estos detalles se pueden ver en el ZMAX de las 19 z, Fig 8a. Se ha amplificado el detalle de la línea para ponerlo más claramente de manifiesto. La zona ligada a la región de posible lluvia de tipo estratiforme se ve reducida según la radial que une al radar con las distintas células-obstáculos.

Un signo de la posible organización en célula de tipo severo radica en detectar los posibles elementos que las caracterizan mediante el uso de los modelos conceptuales disponibles: zona abalconada, región de eco débil, fuerte gradiente de reflectividad en niveles bajos, presencia o no de un mesociclón, etc. Para mayor detalle de estos elementos ver bibliografía (Lemon,1980; Martín, 1995).

Aunque el ZMAX es una imagen de vigilancia bastante completa, en ciertos momentos y situaciones es preciso realizar cortes específicos determinados con objeto de buscar señales de una mayor organización: región abalconada, región de eco débil, estructuras en forma de ganchos,etc. La forma recomendada de hacerlo es aquella que tenga en cuenta la dirección de alimentación de niveles bajos y el flujo de niveles medios-altos. Esto es lo que se ha hecho en la Fig 8b, donde se realizó un corte de una de las células a las 19 z, en que se aprecian parte de los elementos enunciados con anterioridad: zona abalconada, echotops elevados, fuertes gradientes de reflectividad, inclinación vertical de los máximos de reflectividad en diferentes niveles.

Desgraciadamente parte de otras estructuras tienen unas dimensiones tan pequeñas respecto a la resolución del radar que no son fácilmente detectables mediante nuestros radares operativos, agudizados por las particularidades específicas de nuestro sistema de tratamiento y presentación de datos: interpolación de los datos volumétricos a un sistema cartesiano de referencia, distancia y tamaño de la traza o estructura a detectar respecto al radar, procesos de absorción de la señal,etc. Este es el caso de la posible región de eco débil acotado, ganchos verticales y horizontales,etc.

Fig. 8.a



Detalle

Zmax hor/Zmax ver (dBZ) 19:00 z 950524

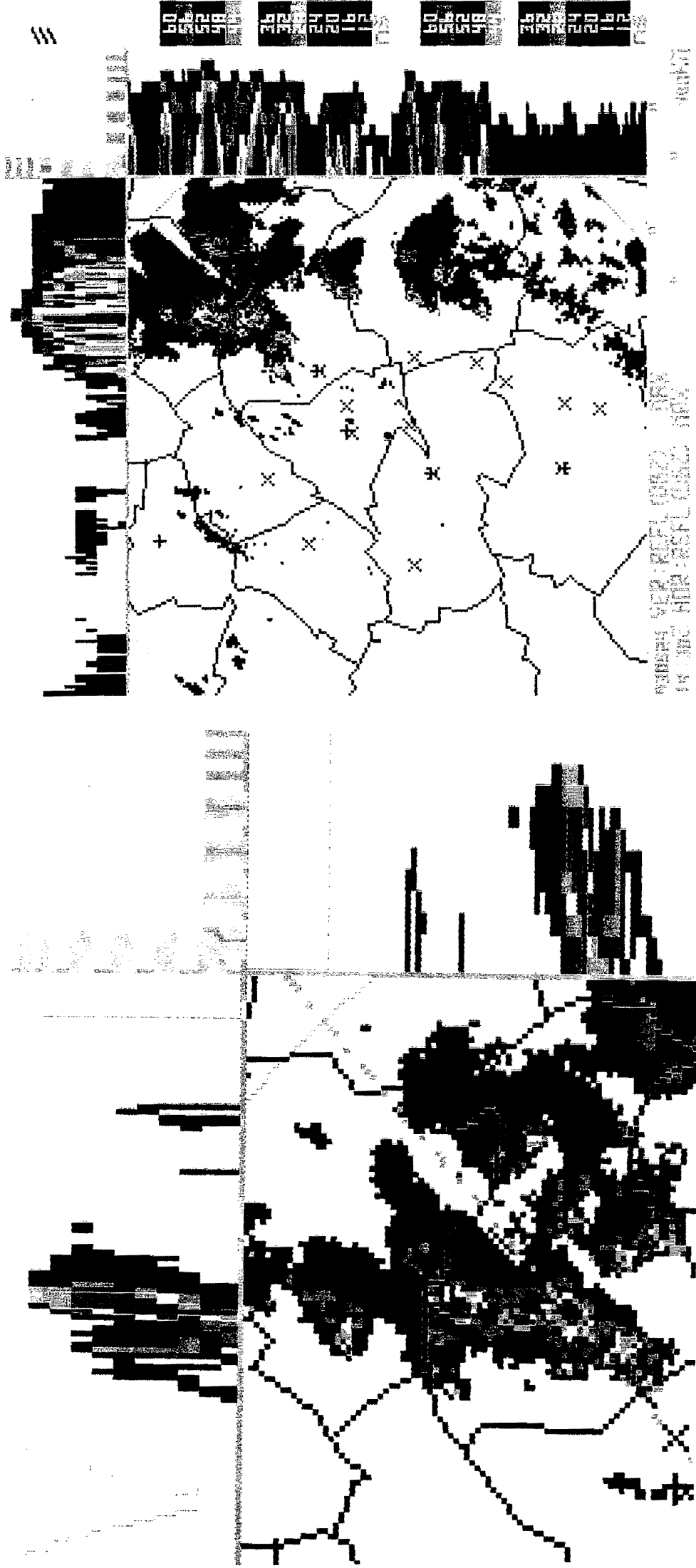
En la parte izquierda de la Fig 8b, vemos como se encontraba el sistema a las 19:30 z, tomando siempre como referencia la imagen global de vigilancia regional recomendada para los fenómenos convectivos, que serán comentados con mayor detalle posteriormente.

Todo lo anterior nos lleva a la necesidad de **la adaptación de los modelos conceptuales a los sistemas de teledetección operativos**. En nuestro caso será difícil de llegar a ver ciertos elementos de pequeña escala característicos de las tormentas severas, pero sin embargo deberán dejar alguna traza o indicio de su existencia. Como ejemplo de ello es la figura adjunta, Fig 9, donde se muestra cómo una estructura multicelular (o posiblemente supercelular) es presentada por el sistema radar de Madrid del INM. Como podemos observar existen cierta similitudes entre el modelo ideal, figura de la izquierda, y la estructura que en un momento determinado detecta y presenta nuestro sistema. Quedan reflejados los valores muy intensos y elevados de reflectividad, altos echotops, inclinación de la célula según el viento rector de niveles medios, la presencia de ciertas señales ligadas a la zona abalconada. Por contra otras estructuras serán difíciles de ver: región de eco débil, estructuras en ganchos en la vertical, etc. Respecto a la inclinación de la estructura artificial radar hay que señalar que nuestros sistemas exploran de arriba a abajo de tal forma que la señal que procese de niveles superiores puede estar tomada dos o tres minutos antes de que se realice el PPI más bajo. Si las estructuras se desplazaban hacia el NNE o NE, esto implica que la parte inferior se debió "mover" en tal dirección después que se tomarán los datos de niveles medios-altos de forma que en realidad la inclinación real de la célula debió de ser mayor que la que presentaba el sistema radar en la hora nominal dada.

La Fig 10 nos resume algunos de los elementos claves de la estructura severa de nuestro caso de estudio: Un corte específico CD para determinar la estructura vertical, la inclinación de los máximos de Z en diferentes niveles y los perfiles verticales desde la zona de fuerte gradiente en niveles bajos, G, y la que se obtiene tomando como referencia la zona más intensa de niveles medios, que recuerda a la zona abalconada, O y WER, respectivamente en la Fig. 10.

Del estudio detallado de las células que formaban parte del SCM, se puede deducir que todas ellas presentaban unas características muy comunes, ya enunciadas con anterioridad; al menos, todas eran de tipo multicelular y potencialmente severas, hecho ya de por sí importante. La posibilidad de caracterizar las células de tipo supercelular no fue posible por los problemas de resolución enunciados con anterioridad, pero además sería necesario encontrar el elemento que las caracteriza: la presencia de un mesociclón en niveles medios. Desgraciadamente la no disponibilidad de volúmenes Doppler nos impide la detección de alguna señal asociada a la posible existencia de dicho elemento dentro de las células, siempre y cuando dispongamos de dicho volúmenes y el sistema a analizar caiga dentro de la cobertura adecuada.

Fig. 8.b



Detalle y corte específico

d) Fase de disipación y colapso de la organización celular.

Volviendo de nuevo a la Fig 8b, podemos ver como había evolucionó el sistema hasta las 19:30 z, momentos antes del tornado en Sigüenza.

Sabemos que es en la fase disipación, o de colapso de alguna de las estructuras multicelulares, cuando el tiempo severo se puede manifestar con toda virulencia en superficie, y en particular la presencia de tornados. Así ocurrió. Sobre las 19:30 z, la célula situada en el flanco más al sur y una de las que se había mostrado con más actividad en el radar, se encontraba cerca de Sigüenza. Podemos ver, mediante el ZMAX o mediante cortes determinados, como evolucionan ciertos elementos significativos, Fig 10 y 11: desaparece su organización en la vertical, los valores elevados de reflectividad pierden altura y se desploman hacia el suelo. Estos hechos ocurrieron minutos antes de que el tornado apareciera en superficie. Hoy en día no podemos anticiparnos, con seguridad suficiente, a esta fase. De nuevo podría ser el radar Doppler el que nos pudiera dar alguna señal de que la estructura mesociclónica perdiera altura, momentos antes de que el tornado se forme en superficie si se tratara de una estructura supercelular.

Llama la atención que mucho antes de la aparición del tornado, el número de rayos positivos fue anormalmente alto respecto a los negativos, muy escasos por cierto. Momentos antes de la aparición del tornado la actividad de rayos decayó notoriamente y posteriormente volvió a aparecer con una supremacía de los negativos sobre los positivos como se demuestra en la Fig.7, momentos antes de las 19:30 z.

Pero ¿por que existió tan escasa actividad eléctrica?

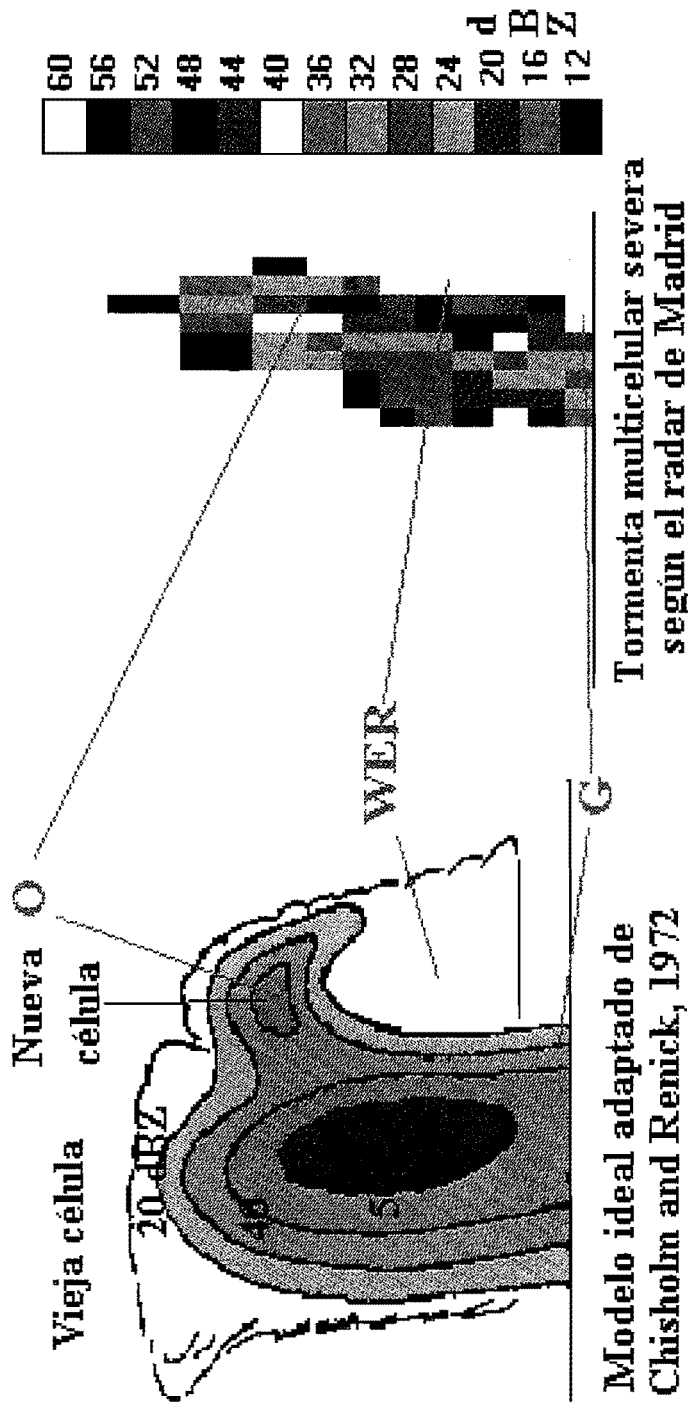
e) Información obtenida a partir de los datos de rayos: ciclo de vida eléctrico de la Línea de Turbonada.

Otra de las piezas que debe de encajar el predictor en su esquema mental de lo que esta pasando cuando se analizan fenómenos convectivos es la derivada de los datos proporcionados por la red de detección de rayos del INM. Desgraciadamente los modelos conceptuales ligados al ciclo de vida eléctrico de los fenómenos convectivos no están tan bien desarrollados como los del radar, sobre todo por que sólo disponemos de parte de la información eléctrica que desarrolla la convección (los rayos o descargas de nube a tierra, NT).

De cualquier forma podemos sacar información significativa y útil cuando nos enfrentamos a cierto sistemas tormentosos (Martín et al., 1994.) Para el caso de tipo severas la situación se particulariza en los resultados parciales y puntuales que se han realizado en otras partes del mundo y que se pueden resumir en:

-La cizalladura vertical del viento favorece la aparición relativa de más rayos positivos que de negativos, incluso en términos absolutos, no sólo en la fase de disipación de la convección sino, y es lo más importante, en la fase en que aparecen los primeros rayos ligados al desarrollo de la nube convectiva. Esta "anomalía" puede ser un chivato de la existencia de una cizalladura adecuada para que se desarrolle tiempo severo si otros ingredientes también aparecen.

**Modelo conceptual ideal de multicélula severa
Necesidad de adaptación local**



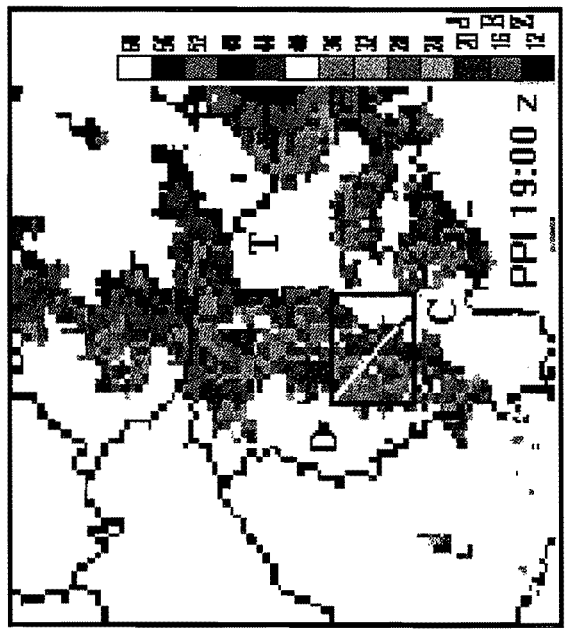
O: Zona abalconada/gangho
WER: Región de eco débil
Z: Valores intensos de reflectividad (Z) en niveles altos Echotops elevados

Fig. 9

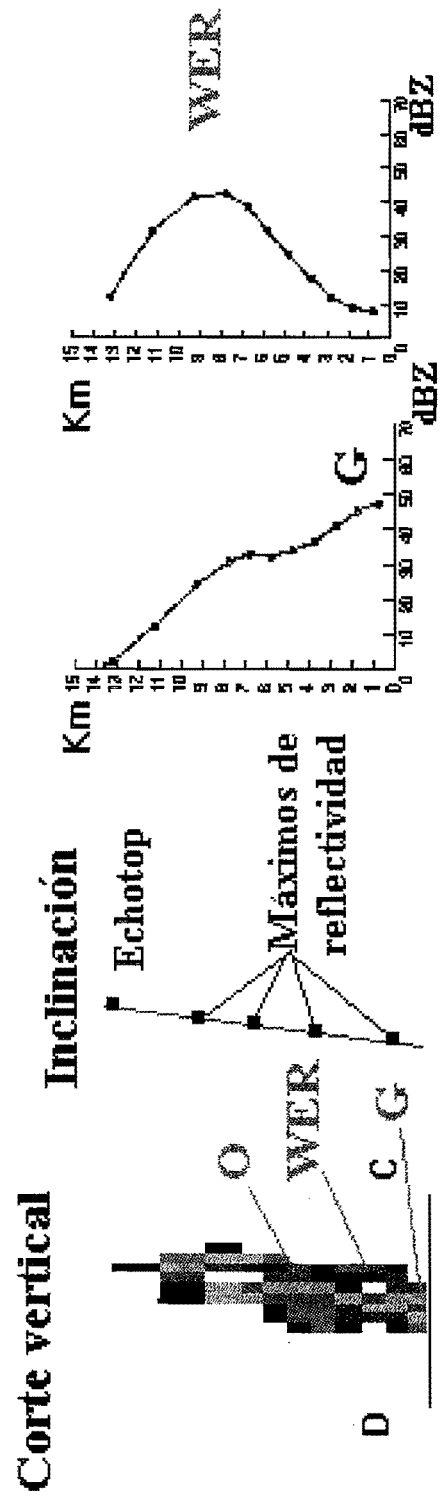
**LINEA DE TURBONADA
Y TORMENTA SEVERA**

*Fase Multicélula
Severa*

T marca la
localización
de Sigüenza

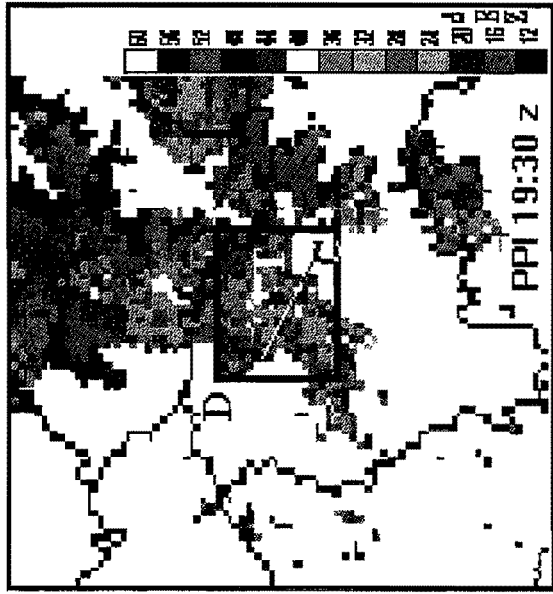


**Perfiles verticales de Z
en las zonas G y WER**



**O (Overhang): Zona abalconada
WER(Weak Echo Region): Región de eco débil
G: Zona de fuerte gradiente de Z en niveles bajos**

Fig. 10

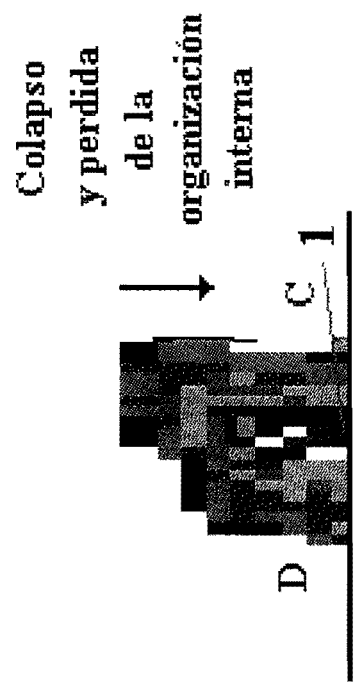


**LINEA DE TURBONADA
Y TORMENTA SEVERA**

*Fase de disipación:
colapso y posible tiempo
severo en superficie*

T marca la
localización
de Sigüenza

Corte vertical



Km Perfil vertical en "1"

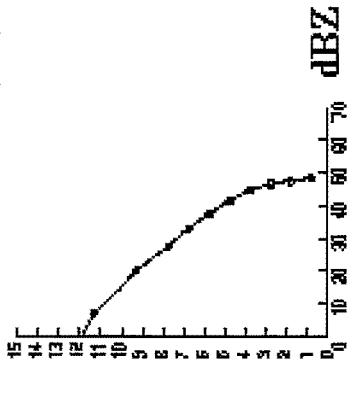


Fig.11

- O (Overhang): Zona abalconada**
- WER (Weak Echo Region): Región de eco débil**
- G: Zona de fuerte gradiente de Z en niveles bajos**

Desaparecen

-Es muchísimo mayor el número de descargas de Nube a Nube, NN, que las de NT (MacGorman, 1986 y Richard,1992). Se ha llegado a dar el caso en que no se ha detectado ningún rayo en fenómenos convectivos con tiempo severo en superficie, siendo muy elevado el tipo NN. Por lo tanto la escasa actividad de rayos en focos convectivos muy intensos (detectados por radar) puede ser indicio de que gran parte de la energía eléctrica, que se genera en estos sistemas, se este redistribuyendo dentro de la misma nube o nubes que forman al sistema en forma de descargas NN.

-La aparición de tiempo severo en superficie, suele ir acompañada, y/o precedida, por una disminución notoria en la actividad de los rayos, ya de por si baja.

La hipótesis de trabajo, de estos hechos, (MacGorman, 1989 y Ziegler, 1994) sugieren que las corrientes intensísimas que existen en estos sistemas elevan las zonas de potencial precipitación en niveles medios-altos, de forma que los procesos de electrificación y generación de carga se producen muy alejados de la superficie terrestre por los que el centro de cargas negativas se encuentra muy cerca de las positivas, a la vez que están separadas en la vertical, Fig 3b. El resultado es que el número de descargas NN es muy elevado mientras que el de NT es muy bajo. La presencia de un mesociclón embebido en el sistema puede incluso elevar, aún más, dichos centros con el consiguiente predominio de los NN. Estos investigadores encontraron que el pico de los NN ocurría en el momento de máxima intensidad de la tormenta

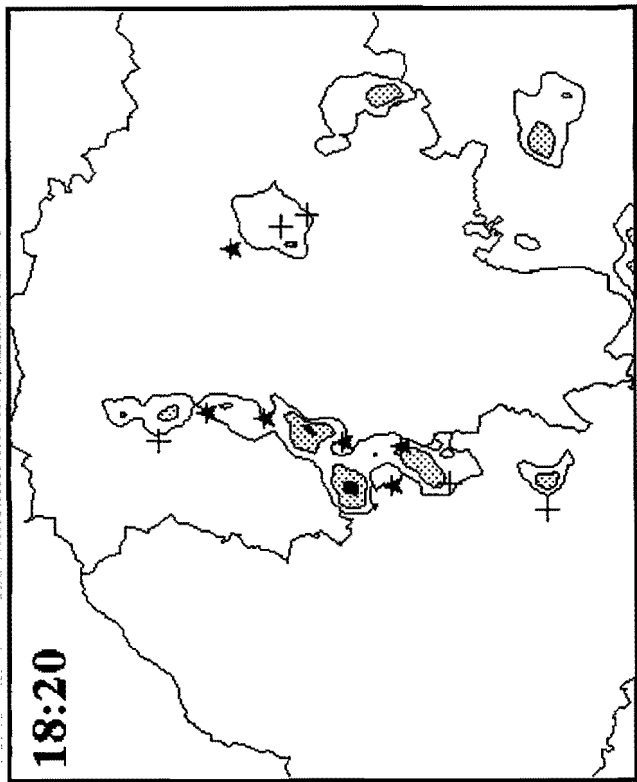
En este caso, y desde el punto de vista operativo, podemos extraer las siguientes conclusiones de este episodio, que esta soportado por otros estudios y la experiencia subjetiva del autor:

- la generación "anómala" de más rayos positivos que negativos en la fase de desarrollo y madurez de los primeros núcleos convectivos de la mañana es un factor que nos debe de poner en guardia frente a los posibles desarrollos posteriores.

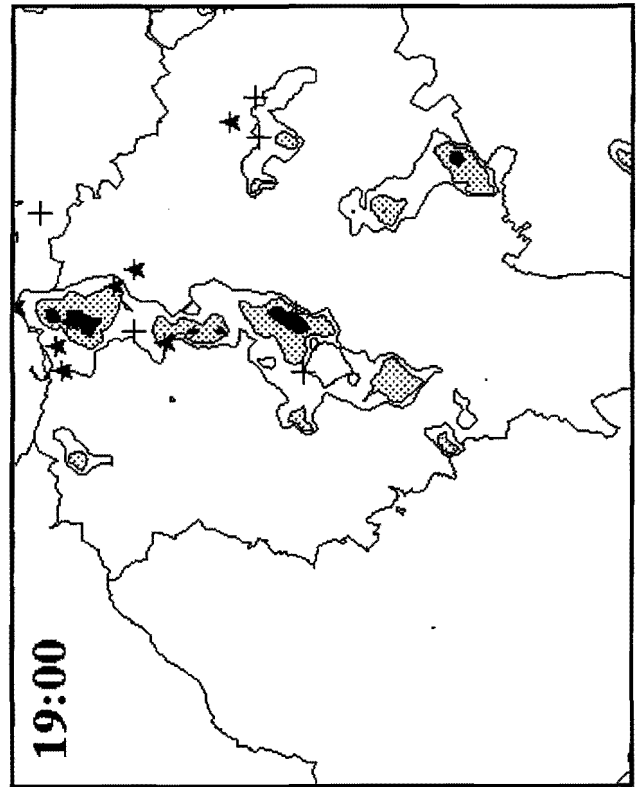
-La escasa actividad de rayos que presenta un conjunto de células muy intensas y organizadas es otra señal que debe de ser tenida en cuenta para ponernos en guardia sobre los posibles fenómenos que se pueden generar en su seno, y en particular con tiempo severo siempre y cuando se den otras condiciones (fuerte inestabilidad, capa seca en niveles medios, etc).

Como ejemplo de estos hechos podemos observar la evolución de todos los rayos ligados a la línea de turbonada (y no a la célula que generó el fenómeno) en la Fig 7, con: la escasa actividad eléctrica, la existencia de más rayos positivos que negativos en su primera fase y el mínimo significativo momentos antes del tornado en Sigüenza. Por otra parte la composición de ciertos PPI, en modo normal del radar de Madrid, con los rayos asociados pero en una ventana temporal de ± 5 min. nos confirman los anteriores puntos significativos, Fig 12.

De hecho los datos que nos suministra la red de detección de rayos no poseen la suficiente riqueza como los datos de radar, pero son importantes para confirmarnos ciertas sospechas que podemos tener en mente. Además la falta de modelos conceptuales eléctricos ligados a tormentas con procesos tornadogenéticos, en los que se tengan en cuenta las descargas NN y NT, hacen que estos datos queden en un segundo plano con respecto al radar. La casuística es tan amplia que, de hecho, se han llegado a observar tornados donde sólo se detectaron algunos rayos negativos y en otros, incluso no se detectó ninguno.



PPI -Z (Normal) 30 40 50 dBZ



Rayos en una ventana temporal de ± 5 minutos de la hora del PPI
 ★ Negativo + Positivo

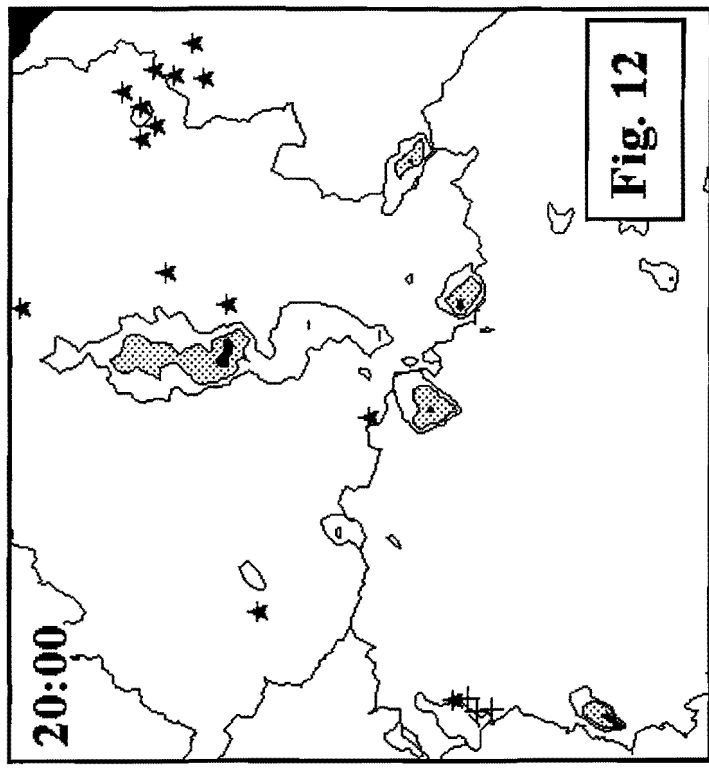
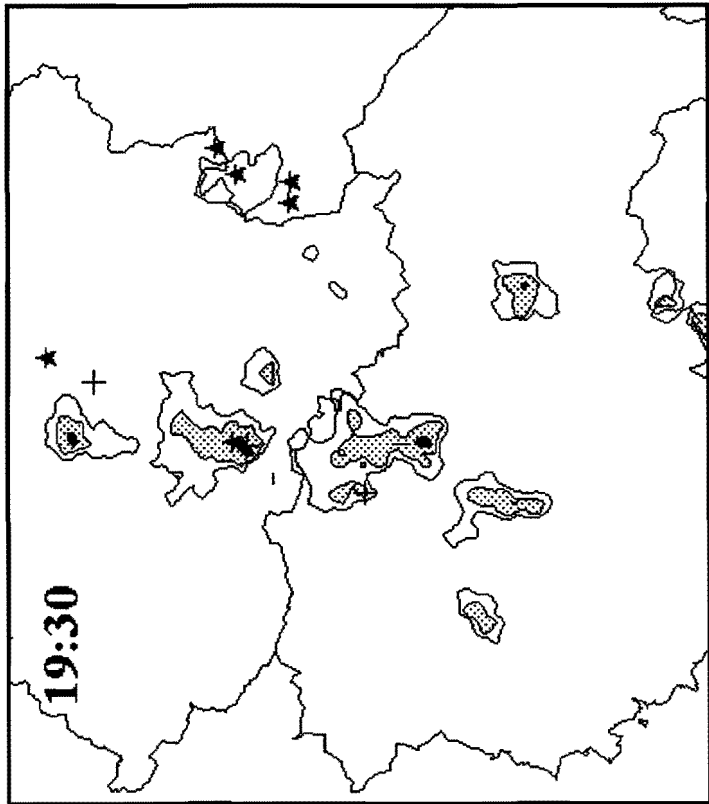


Fig. 12

Conclusiones.

La predicción a muy corto plazo de la convección es uno de los mayores retos con los que se enfrentan en la actualidad los predictores. Los modelos numéricos pueden ofrecernos ciertas ayudas a la hora de simular y manejar los ambientes pre-convectivos en los que se puede formar la convección. Desgraciadamente esos fenómenos están ligados fuertemente a los procesos que ocurren en la capa límite planetaria y son los que peor están reproducidos por los modelos numéricos. Por otra parte, variaciones de 1 ó 2 grados en el campo térmico de niveles medios pueden suponer la existencia o no de la inestabilidad suficiente para el desarrollo de la convección. Elementos como la cizalladura vertical del viento y la estructura vertical de la humedad nos podrían servir como elementos definitorios del tipo de convección que se puede desarrollar. Mientras que el primer parámetro suele estar bien reproducido por los modelos, la humedad es más escurridiza.

Por estos motivos los datos de teledetección son fundamentales para la anticipación, seguimiento y caracterización de la convección cuando esperemos que se vaya a desarrollar. En este trabajo se ha descrito el papel de cada uno en las diferentes fases del desarrollo de la convección: ambientes pre-convectivo y durante su desarrollo.

Es especialmente significativo el papel de las imágenes de vapor de agua a la hora de evaluar cualitativamente el entorno donde se van a desarrollar las tormentas: ambiente relativamente seco en niveles medios-altos y el aumento de inestabilidad como consecuencia de la entrada de aire con baja temperatura potencial sobre zonas donde el calentamiento diurno es muy significativo.

Se ha enfatizado el papel de los modelos conceptuales a la hora de poder interpretar la gran cantidad de datos con los que tiene que trabajar el predictor, en particular cuando la convección comienza a desarrollarse mediante el reconocimiento de cierto grado de organización tanto a nivel meso-alfa (SCM) y meso-beta o menor (estructura tridimensional de las tormentas de tipo multicelular o supercelular). Es fundamental la necesidad de que, en ciertos casos, estos modelos ideales deben de ser adaptados a las herramientas operativas que dispongamos, como ha sido el caso de las estructuras severas observadas por el radar.

No se ha pretendido hacer de este ejemplo un caso de estudio, profundizando en aspectos que en la realidad cotidiana no estaban disponibles (simulaciones con modelos numérico de mejor resolución, tipo HIRLAM), o el estudio de los fenómenos que ocurrieron en las zonas limítrofes de alrededor y tomados por estaciones o colaboradores cuyos datos no estaban disponibles en tiempo real, etc. Más bien se ha recalcado varios hechos fundamentales que repercutirían en de las labores diarias como conclusiones operativas:

- El tipo de convección que se puede producir va a depender de un conjunto de elementos que actúan en diferentes escalas y que se acoplan de tal forma que tales ingredientes van a favorecer la aparición de unos y entorpecer la de otros.

- Los modelos conceptuales y las teorías básicas ligadas a la convección son muy útiles para comprender los fenómenos que tiene lugar en la atmósfera.

- La importancia de ciertas herramientas de uso diario (modelos numéricos, datos de

teledetección,etc) en las labores de predicción y seguimiento de ciertos fenómenos dependen de la fase en que nos encontremos con relación a dicho fenómeno: su predicción, detección, seguimiento, evaluación de su impacto social,etc. Este caso nos pone de manifiesto cual podía haber sido el peso de cada uno de las herramientas hoy en día disponibles, en las distintas fases del desarrollo de la convección.

☞☞ No hay que olvidar que este tipo de situaciones no se presentan, a un mismo predictor, con mucha frecuencia en su vida operativa, de forma que el grado o agilidad subjetiva de poner todos los elementos del puzzle en concordancia para explicar y evaluar lo que ocurre en la atmósfera es una tarea que puede resultar difícil. Además, y teniendo en cuenta que el espectro de los fenómenos convectivos es uno de los mayores que existen en la atmósfera, es necesario objetivizar estos procesos: normalización de métodos y toma de decisiones, el reconocimiento objetivo de estructuras, la evaluación objetiva de ciertas trazas del severidad, etc,. Este es uno de los retos que se le presenta a la comunidad meteorológica en los años venideros.

Bibliografía.

Breidenbach J.P., Kitzmiller D., McGovern W., and Saffle R., 1995: The use of Volumetric radar reflectivity predictors in the development of a second-generation severe weather potential Algorithm. *Weather and Forecasting*, 10, 369-379.

Fujita , T. T., 1973: Tornadoes around the World. *Weatherwise* 26, 56-62, 78-83.

García A., Elizaga F., 1993: PAMIS, Procedimiento de Análisis a Mesosescala Interactivo en SAIDAS. Partes I y II. Nota Técnica 11 del STAP. INM, Madrid.

García A, Elizaga F. 1995: Campos y trayectorias sobre superficies isentrópicas en SAIDAS Análisis isentropica. Nota Técnica 22 del STAP. INM , Madrid

Doswell, C.A., 1985: The Operational Meteorology of Convective Weather. Volum II:Storm Scale Analysis. Environmental Sciences Group. Boulder, Colorado, April 1985.

Doswell, C. A, Brooks H. E. and Maddox R. A., 1995: Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology. Fifth Workshop on Operational Meteorology. AES/CMOS. Edmonton , Alberta, 28/Feb-3/Mar 1995.

Gayá M., 1992: "Caps de Fibló" (Trombas o Tornados): Algunas observaciones recientes. III Simposio Nacional de Predicción, pp. 19-25. INM.

Lemon, L.R., 1980: Severe thunderstorm radar warning techniques and warning criteria. NOAA Tech. Memor. NWS NSSFC-3, U.S. Department of Commerce, 66 pp.

Martín F., De Esteban L., Canalejo M., 1994: Estudio de los sistemas convectivos de mesoescala del 8-9 de Octubre de 1992. Nota Técnica del STAP N° 16, INM, Madrid.

Martín F. y Riosalido R., 1995: Modelos conceptuales de tormentas visto por radar. Módulos de enseñanza asistida por ordenador (TEMPO) . STAP. INM

MacGorman, D.R., D.W. Burgess, V. Mazur, W.D. Rust, W.L. Taylor, and B.C. Johnson, 1989: Lightning rate relative to tornadic storm evolution on 22 May 1981. *J.Atmos. Sci.*, 46, 221-250.

Peterson, R.E. 1982: Tornadic Activity in Europe the Last Half-Century. XII Conference on Severe Local Storm. January 12-15, 1982. San Antonio, Texas.

Richard P., 1992: Severe Thunderstorm nowcasting: Example of tornadic storm observed with a total lightning detection system (SAFIR). Technical conference on tropical aerounautica Meteorology. WMO, N° 785.

Riosalido R., 1994: STArPc.. Software para Tratamiento y Análisis de datos radar en Pc. Nota Técnica N° 18 del STAP. Madrid, INM.

Ziegler C.L. and MacGorman D.R. 1994: Observed lightning morphology relative to modeled

space charge and electric field distribution in a tornadic storm. *J. Atmos. Sci.*, vol 51, n° 6, 833-851.

ANEXO

Con el objeto de no engrosar de forma llamativa el núcleo más importante de este estudio, con gran cantidad de figuras y texto, se ha procedido a generar un conjunto de anexos relativos a ciertos puntos que se comentan en ciertos apartados de la nota. El lector puede consultarlos si lo considera necesario.

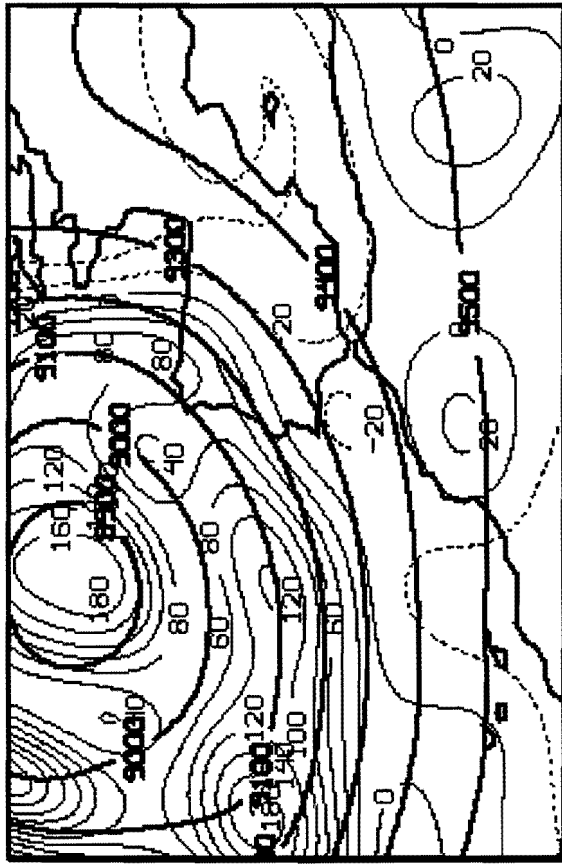
Algunos campos derivados del modelo LAM-INM.

- a) Inestabilidad y forzamiento de niveles altos.
- b) Cortes verticales de humedad relativa y viento: Distribución vertical de la humedad con objeto de identificar zonas secas en niveles medios-altos y flujos.
- c) Trayectorias y análisis isentrópico.

a) Inestabilidad y forzamiento de niveles altos.

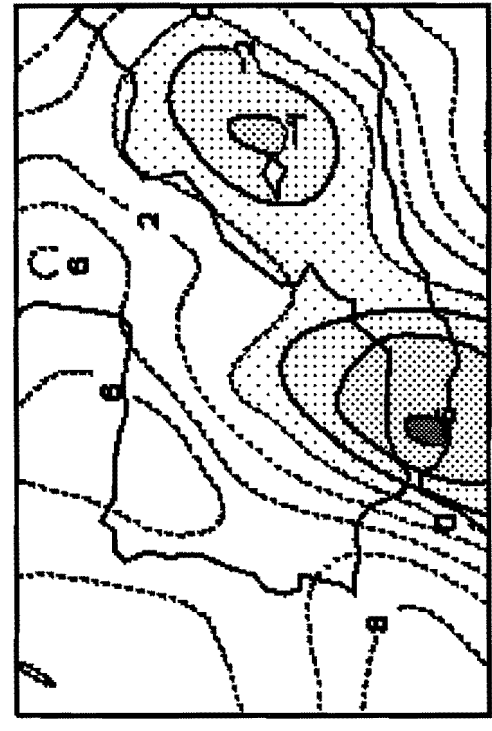
Las zonas de inestabilidad, o de menor, estabilidad se concentraron allí donde la estabilidad convectiva en 700 mb fue mínima (panel superior derecho, ESTW, área punteada). También se puede observar mediante la diferencia entre la THE de niveles medios (500 mb) y niveles inferiores (850, 700 ó el de una capa media 700/850 mb). Los paneles inferiores y el superior derecho nos muestran las zonas más inestables, allí donde las diferencias son negativas o próximas a cero.

Forzamiento de niveles altos. Según el modelo, fue débilmente negativo o nulo. Para ello se ha representado la configuración del geopotencial de 300 mbs (línea gruesa), para tener una idea cualitativa, junto con la vorticidad geostrófica (línea fina, continua para valores positivos y discontinua para los negativos) en el panel superior izquierdo, donde no se aprecia ninguna estructura dinámica que favorezca el desarrollo con zonas de advección de vorticidad. Estos mismos resultados se obtuvieron tomando otras referencias de niveles altos.

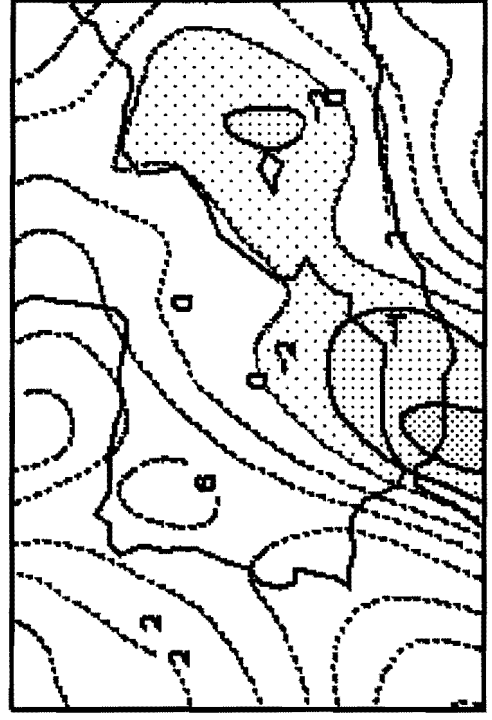


ESTW 700 mb

Z (m) — VORG (sg-1) — pos 300 mb
 — neg



THE 500-THE 850



THE 500-(THE700+THE850)/2

Analysis 12 z LAM-INM

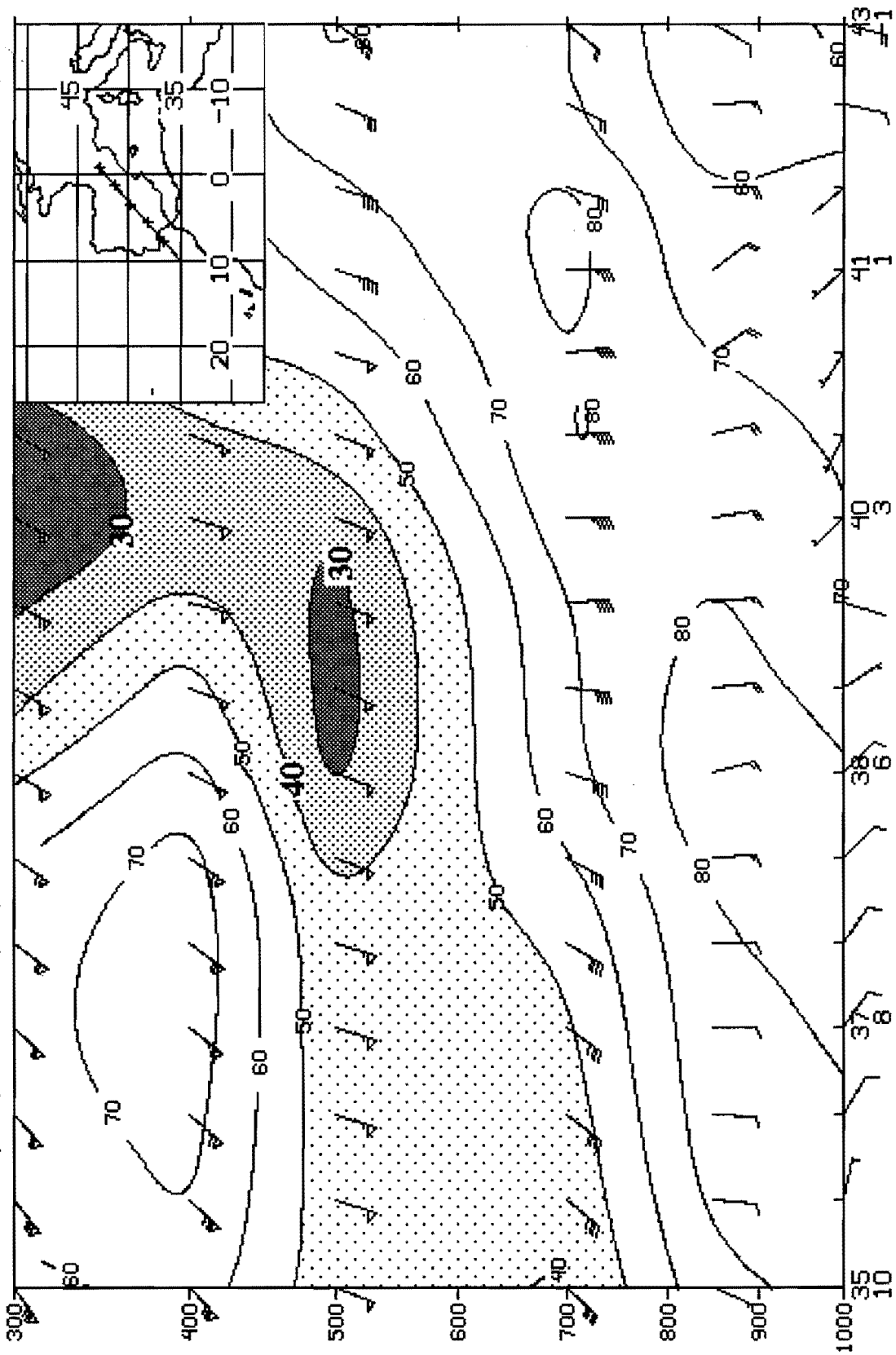
24/05/93

b) Cortes verticales de humedad relativa y viento: Distribución vertical de la humedad con objeto de identificar zonas secas/húmedas en niveles medios-altos y flujos.

Cuando nos enfrentamos a la predicción del tipo de la convección, y/o estamos muy cerca del momento en que comienza a desarrollarse, es muy conveniente el análisis de los campos relativos a la humedad y viento en diferentes niveles, utilizando las salidas objetivas de los modelos numéricos junto con las imágenes de satélites. En este caso se presenta un corte específico para ahondar en la idea de la **entrada relativamente seca en niveles medios-altos que se observa mediante las imágenes de WV**. Obsérvese este hecho en los puntos cercanos a LAT=40 LON=3, como aparecen dos zonas completamente contrapuestas en la vertical respecto al contenido de humedad. La cizalladura vertical no es muy acusada según el modelo.

Estas mismas ideas se pueden derivar de los sondeos de Madrid y Zaragoza que se encuentran casi en la misma línea de corte.

WIN (Kt) RH(%)



Corte vertical INM-LAM 12 z 24/05/93 Analisis

c) Trayectorias y análisis isentrópico.

Esta herramienta es muy útil para verificar ciertas ideas e hipótesis, que el predictor tiene en su mente cuando trabaja con las cartas operativas y datos de teledetección, en especial los datos de satélite. Se han trabajado con diferentes niveles de superficie isentrópicas, y en particular se van a mostrar unos que podrían representar lo que está ocurriendo en niveles inferiores (300 y 305 °K) y otra de niveles medios-altos (315 °K) con el mismo fin. Se pretende:

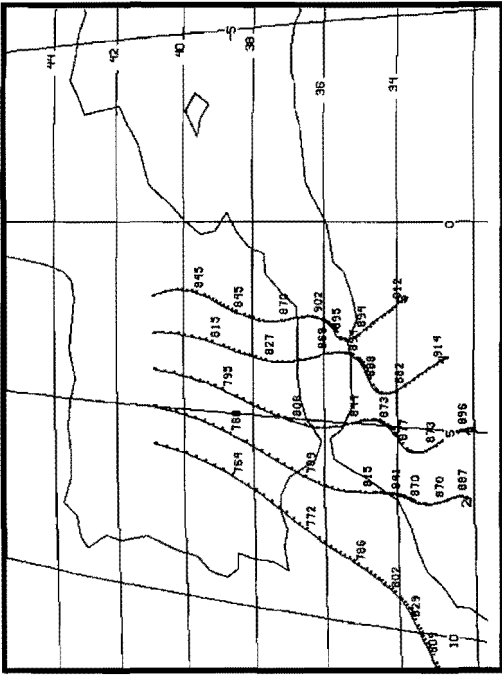
1. Analizar los posibles orígenes de las masas de aire que tomaron parte en los acontecimientos, mediante la obtención de las trayectorias hacia adelante y atrás. Para ello se ha utilizado los análisis de 00, 06, 12 y 18 del día 23 y los de 00, 06 y 12 z del día 24.
2. Analizar el grado de forzamiento en diferentes niveles que ocurrió en día 24 a las 12 z.

Se ha tomado 300 y 305 ° K como superficies que representan los niveles inferiores de la atmósfera. A las 12 z del día 24 podemos ver, en el panel inferior derecho, como sobre la superficie de 300 °K nos encontramos sobre 950 mb al Este de la península mientras que al NW nos encontramos con presiones del orden de 600 mb. Los vientos poseen un mayor grado de perpendicularidad sobre las isobaras en la mitad oriental y centro; al ser unos sistemas de presión cuasiestacionarios podemos asumir que las velocidades verticales son mayores en dichas zonas, y en particular en niveles bajos (para mayor detalle ver Nota Técnica del STAP N^o 22, García, 1995)

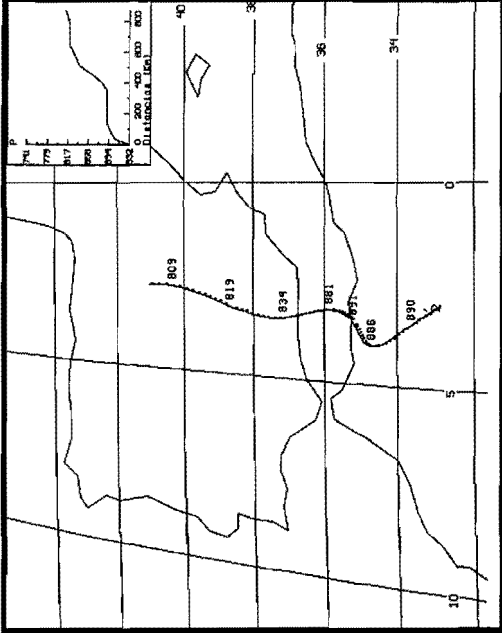
Se tomó como referencia a los puntos situados en la latitud 41° , variando la longitud en 6° , 5° , 4° , 3° y 2° con objeto de analizar la procedencia de las partículas (trayectorias retrógradas con aceleración). Se observan dos tipos de trayectorias: las que provienen del Norte de Africa que se ven sometida a un ascenso de cerca de 100 mb (panel superior derecho) en tan solo 800 Km. Las partículas más accidentales tuvieron una procedencia atlántica y también se ve sometida a un ascenso continuado pero desde más larga distancia (no mostrado aquí), típico, probablemente, de las perturbaciones sinópticas. Una vez confirmadas nuestras ideas, es aconsejable repetir el proceso pero con trayectorias hacia adelante al ser más realistas que las anteriores

Volviendo a las trayectorias de la zona africana, pero esta vez tomado el punto de arranque desde la superficie de 305 °K (más alta que en el primer caso) y calculando las trayectorias hacia adelante podemos observar como asciende, panel inferior izquierdo, pero esta vez con una trayectoria , al final de su recorrido orientada en dirección NE, a diferencia de lo que hacia la que partía desde niveles inferiores, en dirección norte (panel superior derecho).

Si repetimos el proceso en niveles medios (tomamos la superficie de 315° K como referencia) observamos que las trayectorias de la parte occidental y oriental de la península se ven sometidas a diferentes procesos que se reflejan en descensos muy definidos, para las occidentales, seguido de un leve ascenso en el último período. Por contra, las orientales, señalan un continuo ascenso.

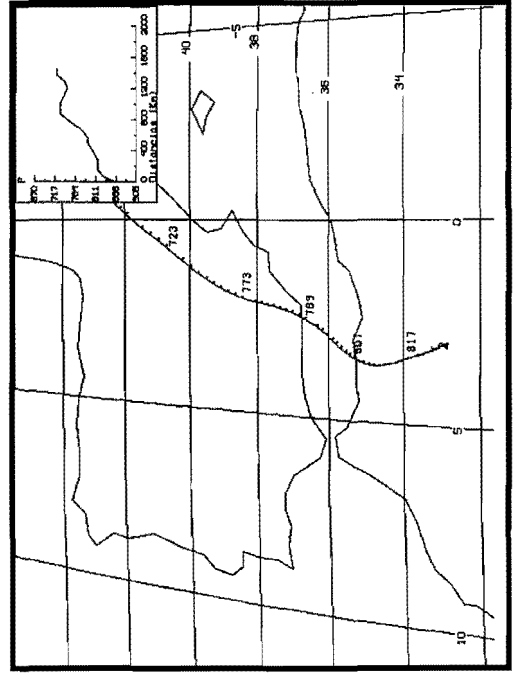


Trayectorias hacia atras sobre la superficie de 300 °K

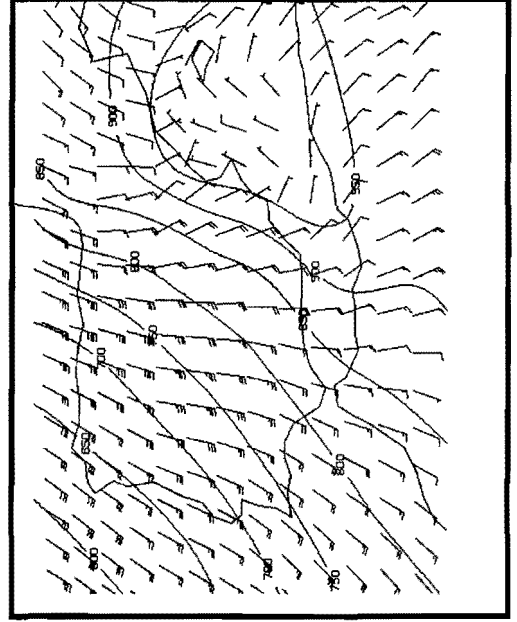


Trayectoria hacia adelante 300 °K

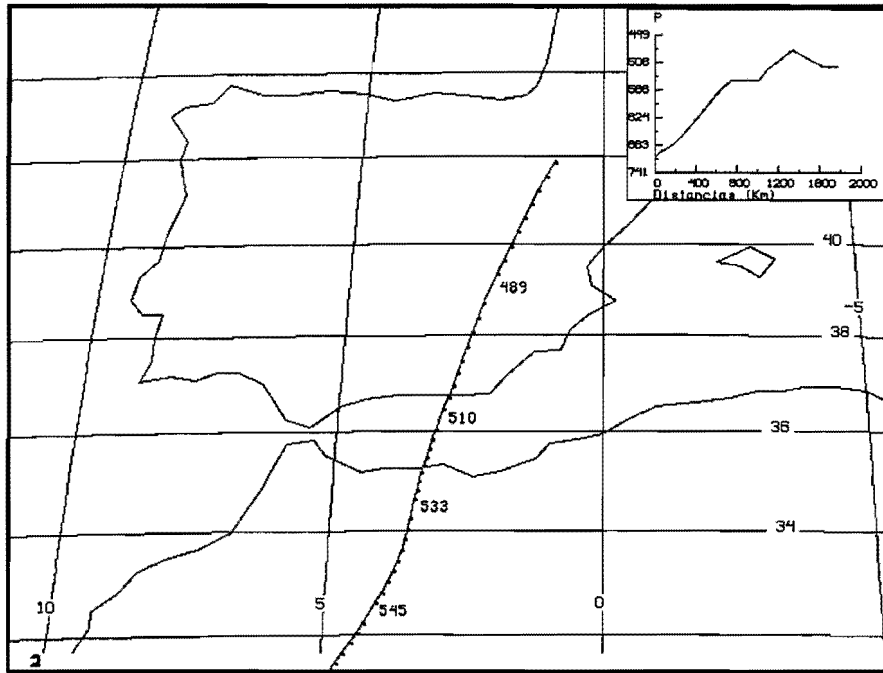
Modelo INM-LAM
Análisis 12 z 24/05/93



Trayectoria hacia adelante sobre 305 °K



WIN(K) y PRESION (mb) sobre la superficie de 300 °K



**Trayectorias hacia atras sobre la
superficie de 315 °K
INM-LAM. Análisis desde 00 z del 23 a las
12 z del 24/05/93**

