

CICLOGÉNESIS VIOLENTA EN EL MEDITERRÁNEO. LA INUNDACIÓN DE MÁLAGA DE NOVIEMBRE DE 1989

José Jaime Capel Molina

Departamento de Geografía
Universidad de Murcia

RESUMEN

La evolución climática reciente en la Península Ibérica ha incluido pertinaces sequías y episodios de lluvias catastróficas con una asiduidad inusitada, tanto en frecuencia cuanto a los amplios territorios a los que afectaba. La violenta *per-turbación* objeto de estudio de esta investigación y que ha afectado al *litoral* sur mediterráneo español del 13 al 15 de noviembre de 1989, es otra muestra más del incremento de las anomalías climáticas que han ido apareciendo sucesivamente en esta década de los ochenta, tan pródiga en eventos meteorológicos extraordinarios, en diferentes escenarios geográficos de la tierra. En la provincia de Málaga los observatorios meteorológicos de Alora Estación y Cartama registraron en varias horas, 210 y 230 mm., respectivamente. La ciudad de Málaga registró 140 mm. en hora y media de precipitación tormentosa, viéndose posteriormente inundado en un sector oeste, por las aguas del río Guadalhorce.

Palabras clave: Clima. Gota fría. Inundaciones. Mediterráneo Español.

SUMMARY

Violent Cyclogenesis in the Mediterranean. The Flooding in Malaga in november 1989

The recent climatic development in the Iberian Peninsula has included persistent droughts and catastrophic rainfall on an unusual scale, in terms of both frequency and the extent of the territory affected. The violent disturbance, which is the object of this study and which hit the Spanish Mediterranean southern seaboard from 13 th to 15 th November 1989, is a further instance of the increase in climatic anomalies which have appeared successively in the eighties, a decade rich in strange meteorological occurrences, in different parts of the planet. In the province of Malaga the Alora Estación and Cartama weather stations for several hours registered 210 and 230 mm., respectively. The city of Malaga registered 140 mm. in an hour and a half of stormy precipitation, and subsequently experienced flooding in the eastern sector with water from the River Guadalhorce.

Key words: Cold Spell. Floods. Spanish Mediterranean.

La actividad económica de la región mediterránea puede verse seriamente afectada cuando la meteorología se vuelve violenta, esto es lo que ocurre con cierta frecuencia en amplias áreas de la España Mediterránea. Por lo general cada vez que ocurre un desastre de origen meteorológico, lo más que se hace es un estudio "a posteriori" de los parámetros que confluyeron para producir unos hidrometeoros fuera de lo común. Incluso siempre nos sorprende como con mapas aparentemente semejantes, en ocasiones no producen nada extraordinario. Quizás los procedimientos de predicción y análisis actuales no tienen eficacia aún para este tipo de meteoros violentos, como son las ciclogénesis y lluvias torrenciales en el Mediterráneo.

La población mundial sigue estando expuesta peligrosamente a las variaciones climáticas y a pesar de los avances tecnológicos éstos no han podido aminorar sus consecuencias, pero a su vez pueden inducir a través de sus actividades a cambios en el clima a gran escala. La continua emisión de subproductos industriales y agrícolas (incremento del CO₂, a consecuencia de la quema generalizada de combustibles sólidos, gases contaminantes industriales como el Metano, el Óxido Nitroso o los Clofluorometanos, partículas sólidas, la tala de bosques, etc.) por influencia directa de las actividades humanas, están cambiando en la actualidad los procesos radiativos de la atmósfera. Estamos asistiendo en los últimos 10 años a un paulatino calentamiento, ya perceptible en amplios escenarios geo-

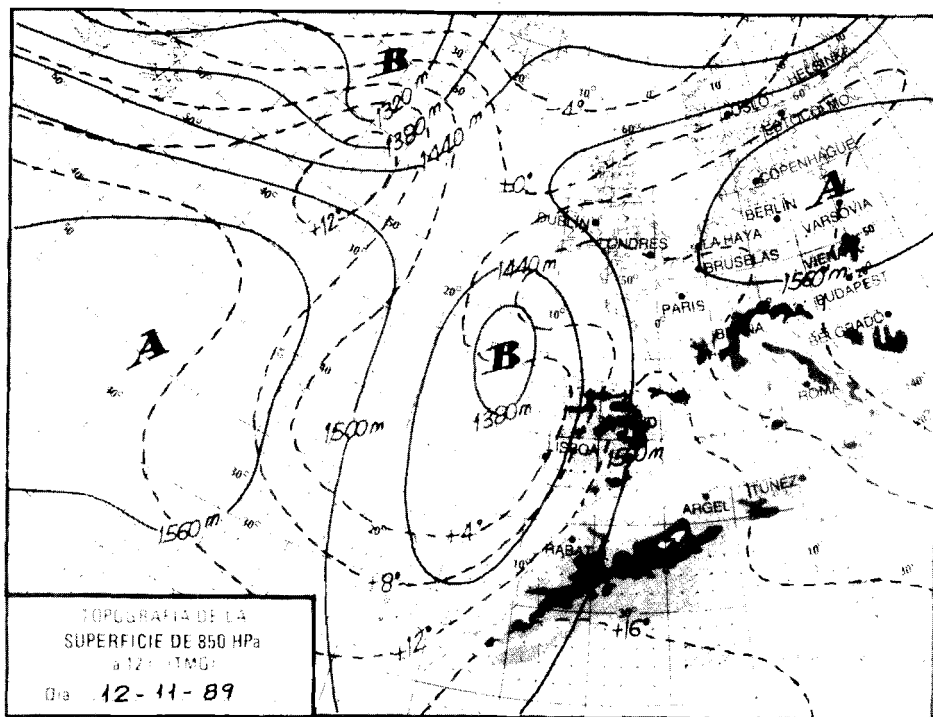


FIGURA 1. En la proliferación de los grandes aguaceros, es importante la irrupción de aire cálido en superficie; aquí, aparece bien visible a la topografía de 850 mb., hacia el área de mayor inestabilidad, provocando un fuerte gradiente vertical.

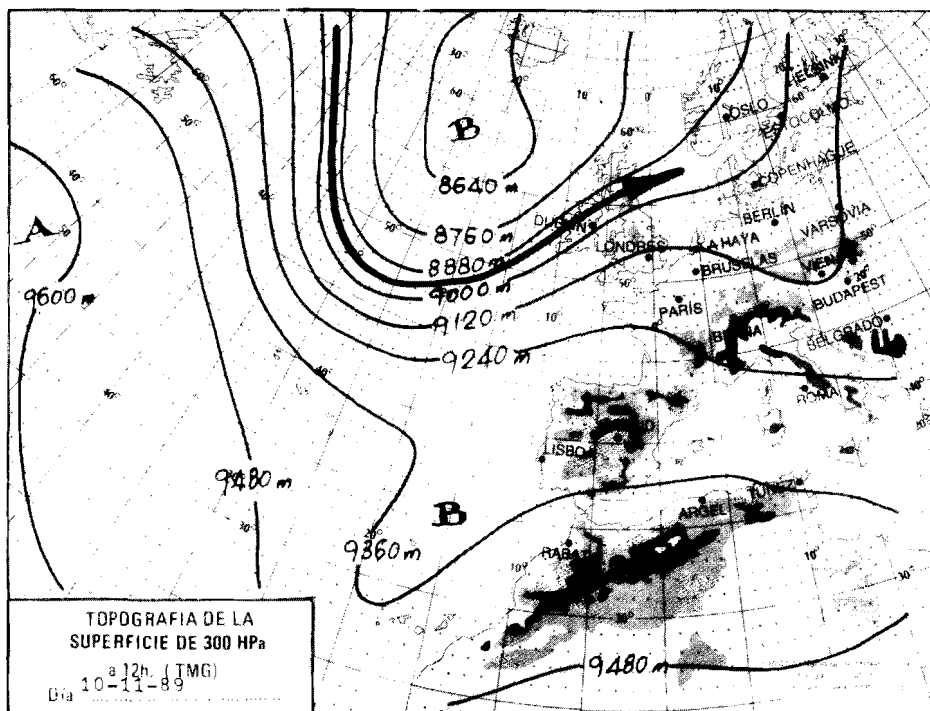
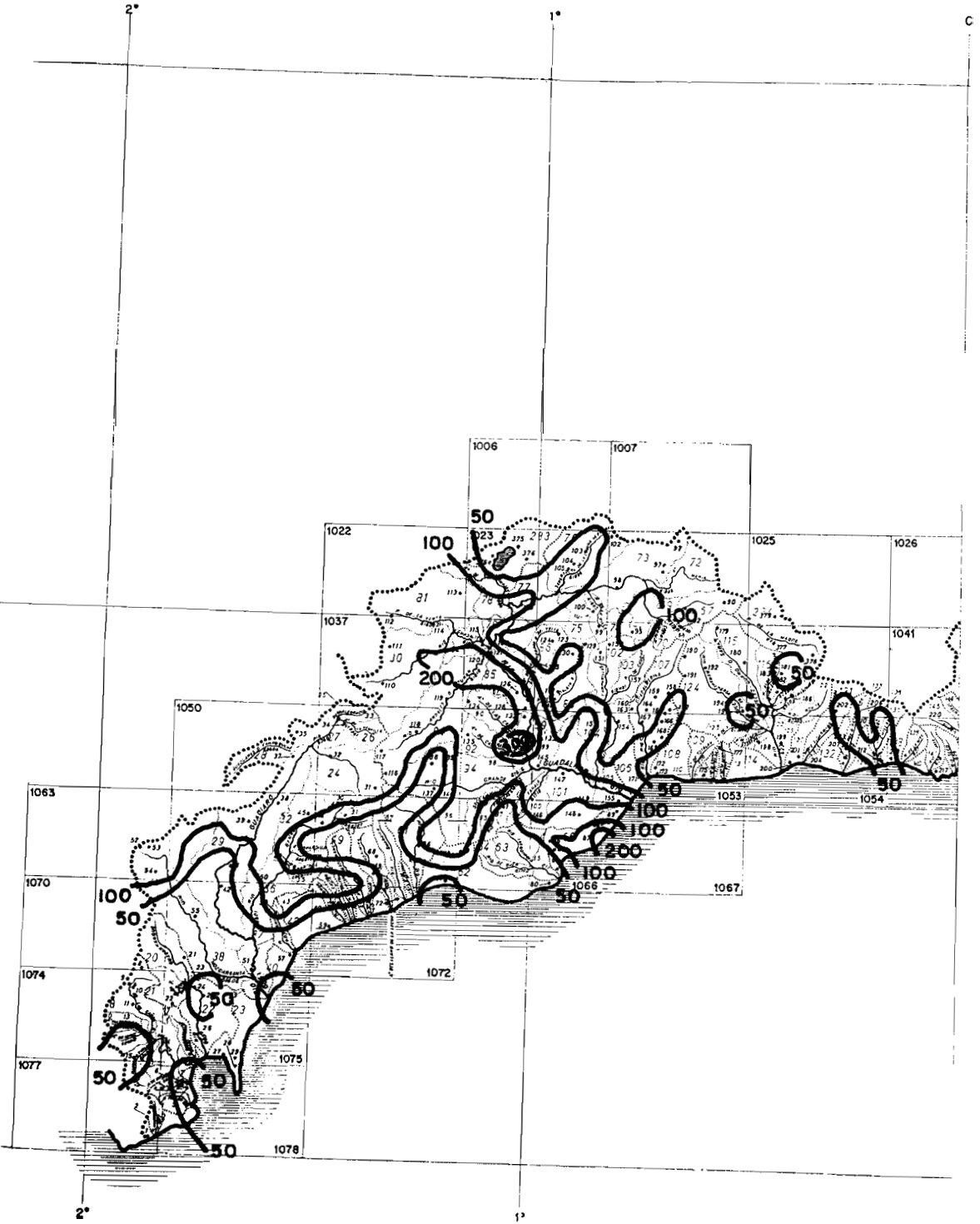


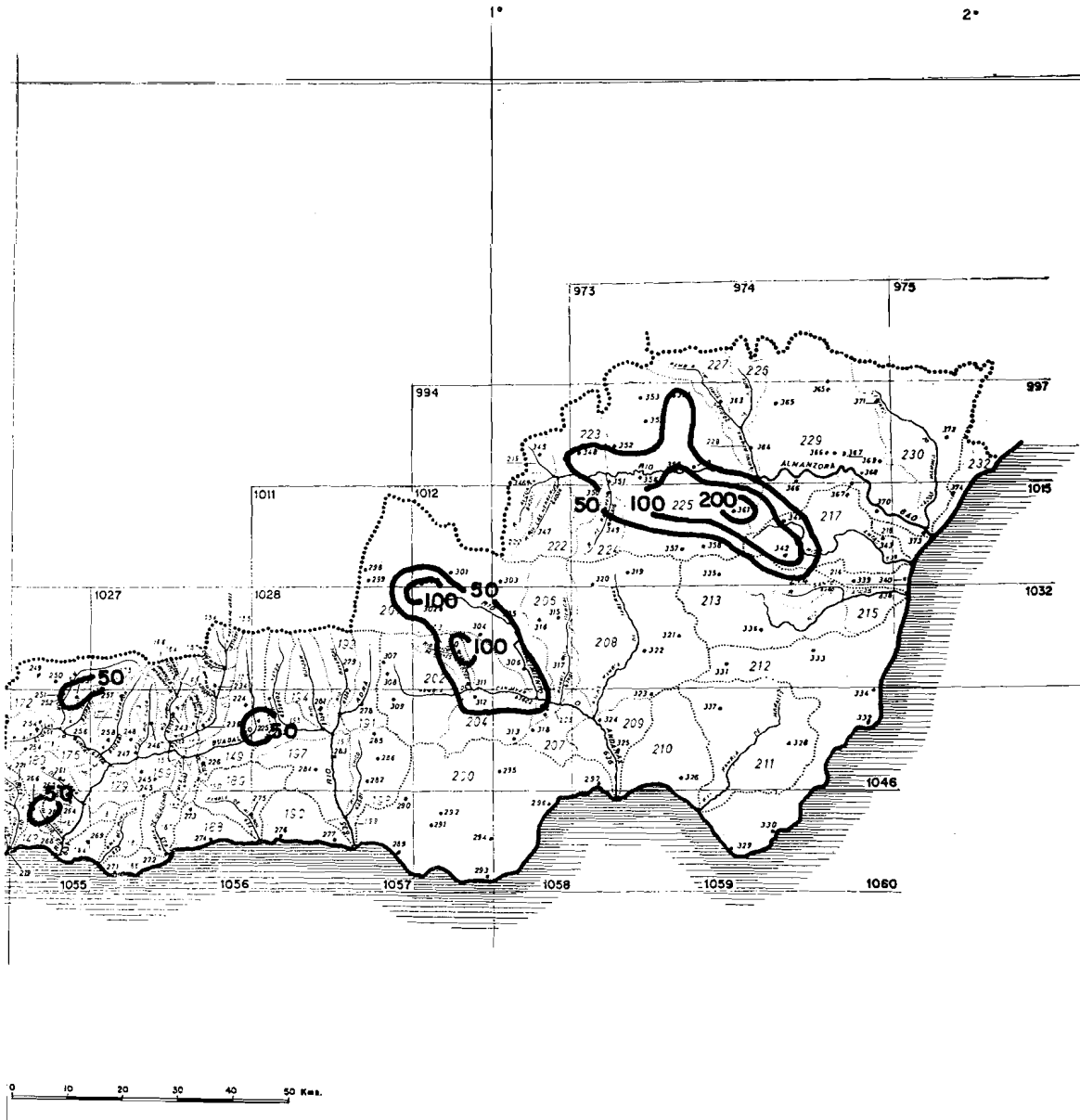
FIGURA 2. Una vaguada planetaria se formaliza a lo largo del meridiano 20°W. Al mismo tiempo que avanza ligeramente de Oeste a Este, va ganando amplitud, profundizando el aire frío hacia el Sur, alcanzando la región de Madeira.

gráficos de la tierra, entre ellos el espacio europeo y todo el ámbito mediterráneo es un ejemplo reseñable. La evolución climática reciente en la P. Ibérica ha incluido pertinaces sequías y episodios de lluvias catastróficas con una asiduidad inusitada, tanto en frecuencia cuanto a los amplios territorios a los que afectaba.

La violenta perturbación que ha afectado al litoral sur mediterráneo del 13 al 15 de noviembre de 1989 es otra muestra más del incremento de las anomalías climáticas que han ido apareciendo sucesivamente en esta década de los ochenta, tan pródiga en eventos meteorológicos extraordinarios. En ella se ha producido el quinquenio más seco de todo el siglo XX (1981/1985), para numerosos observatorios, auténtico cataclismo climático y presumiblemente la peor sequía de España desde mediados del siglo XVIII (Font Tullot, 1988). Y el trienio más seco (1981-1983) para la España Cantábrica. Hemos asistido al invierno más seco en todo lo que va de siglo XX (invierno 1988/1989) e igualmente correspondido con una anomalía térmica positiva, nunca observada y extendida a toda Europa (Estocolmo no registró nevadas en este invierno, hecho inusual en la fría ciudad sueca).

Una de las peores olas de frío, por invasiones de aire ártico marítimo en febrero de 1983.





Isoyetas del temporal de lluvias acumuladas de los días 13-14-15 de noviembre de 1989 en el litoral.
Elaboración propia.

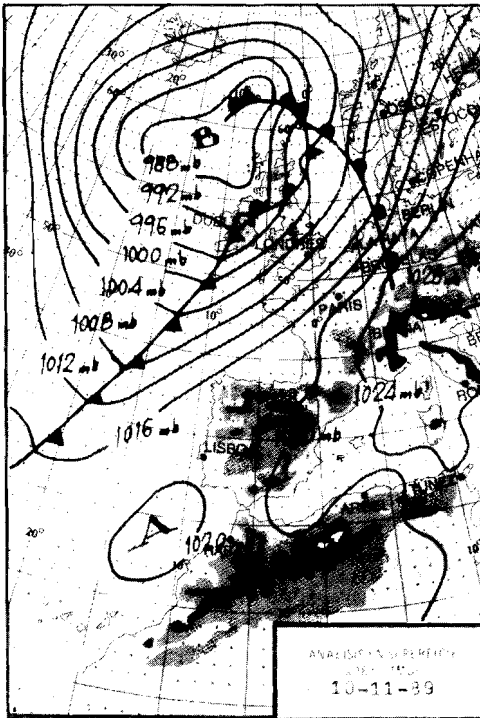


FIGURA 3. En superficie un frente frío, arrastrado por una fuerte corriente polar del cuarto cuadrante (Noroeste) se aproxima a las costas de Galicia y Portugal.

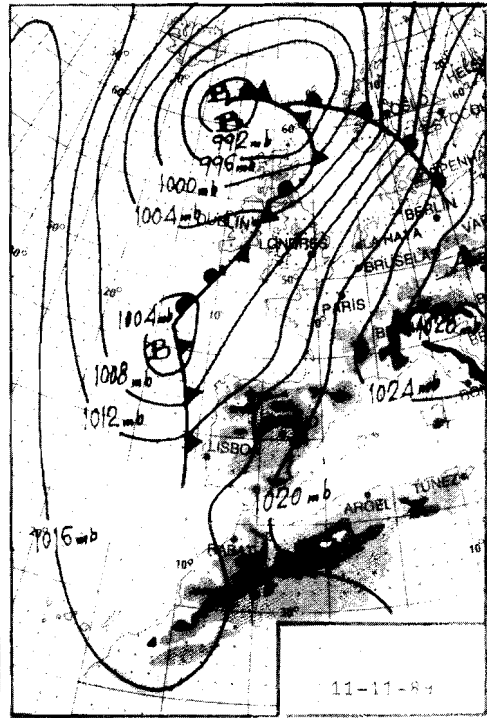


FIGURA 4. El frente frío se ondula y da lugar a una ciclogénesis poco profunda frente al Noroeste Peninsular.

Uno de los meses más fríos (enero de 1985) desde que existen registros, a consecuencia de una prolongada advección de aire polar continental, ocasionando la muerte por congelación a 38 personas.

Una gran ola de calor en junio de 1981, la más fuerte de todo el siglo, para dicho mes. El verano de 1989, quizás el más cálido desde 1900, a excepción de 1949.

Lluvias torrenciales de octubre de 1982 en Valencia, Alicante, Murcia y Albacete, con grandes avenidas de los ríos Júcar, Segura.

Lluvias torrenciales de noviembre de 1982 en Pirineos y Cataluña con inundaciones de los ríos Segre y Ter.

Lluvias catastróficas en el País Vasco y Cantábrico en agosto de 1983. Gran inundación de Bilbao por el desbordamiento del río Nervión.

Aguaceros de octubre de 1985 en Cataluña y Valencia.

Lluvias torrenciales de julio de 1986 en la cuenca del Segura, Valencia y flanco oriental de Castilla-La Mancha.

Aguaceros e inundaciones de octubre de 1987 en Cataluña.

Aguaceros torrenciales de noviembre de 1987 en País Valenciano y Murcia.

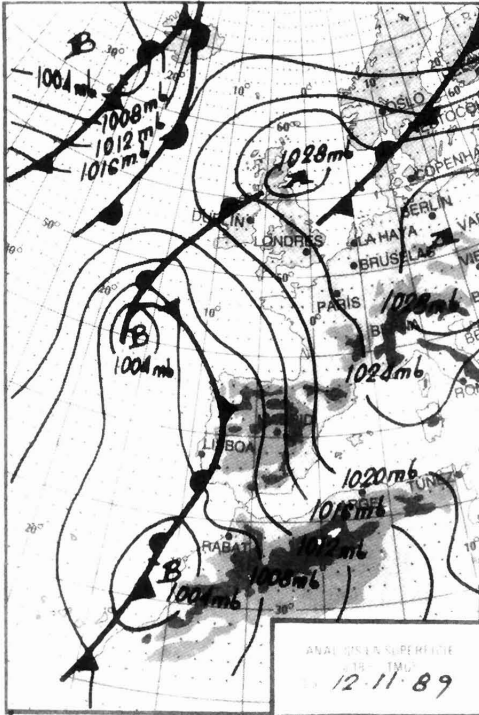


FIGURA 5. Las bajas presiones muestran dos núcleos cerrados, uno al NW de Galicia y otro, muy al Sur, sobre las costas de Casablanca.

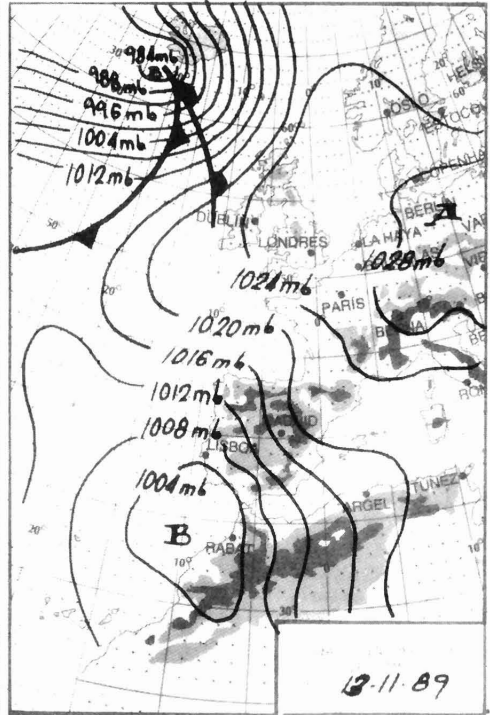


FIGURA 6. El día 13 de noviembre se disuelve el núcleo del noroeste gallego y permanece estacionario el vórtice del golfo de Cádiz y costas atlánticas de Marruecos, con presiones en su centro de 1.004 mb.

Lluvias catastróficas de septiembre de 1989 en el litoral mediterráneo entre Almería y Barcelona. Gran avenida de los ríos Turia, Andarax, Antas y Segura.

Inundaciones de noviembre de 1989 en Málaga, por el río Guadalhorce.

El otoño posibilita en nuestros parajes subtropicales la reiniciación de la actividad de los Ponientes. El cinturón de bajas presiones subpolares se dilata hacia el Sur, adquiriendo trayectorias cada vez más meridionales las perturbaciones ondulatorias del frente polar. La España mediterránea se ve afectada por dicho fenómeno planetario. El paso de una circulación anticiclónica ligada al Contralísio, a otra ciclónica gobernada por los Westerlies está propiciada por el debilitamiento sobre nuestra vertical de las dorsales de bloqueo subtropicales (alta de Azores o alta Norteafricana) y una trayectoria del Chorro a latitud más baja, cuyo frente polar, con sus ondulaciones cruza la Península, naciendo los largos temporales que riegan copiosamente las vertientes atlántica (Sánchez Egea, 1968) y mediterránea españolas.

Entre los tipos de tiempo que provocan lluvias más características de otoño es el ligado a las depresiones atlánticas (Linés Escardó, 1970) que desprendidas de la circula-

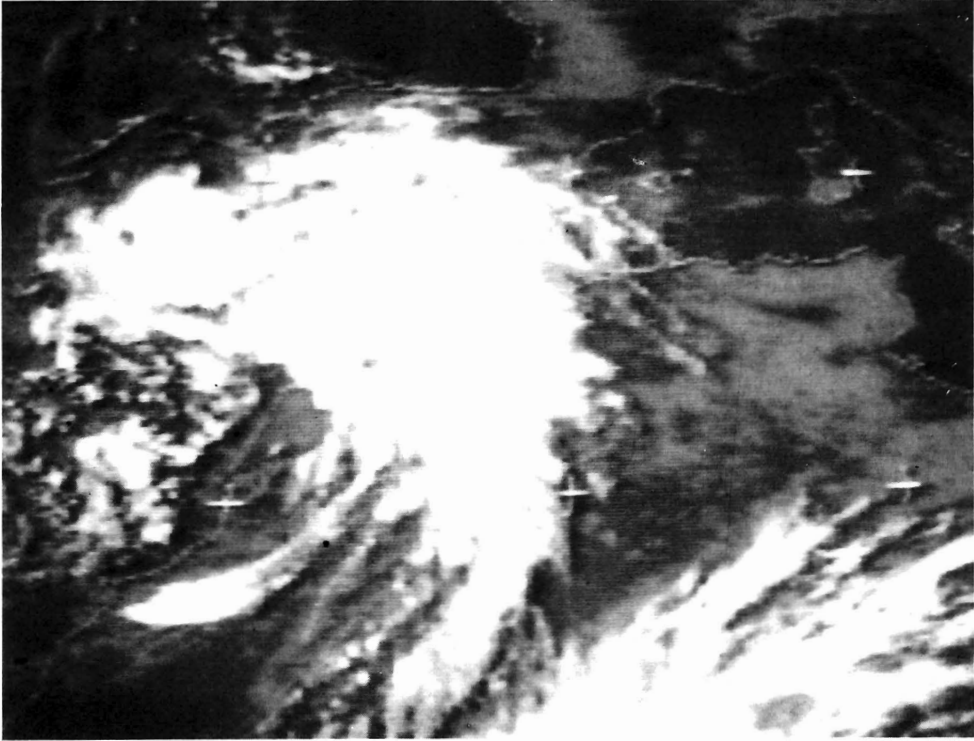


LÁMINA 1. La imagen infrarroja de METEOSAT, 18 h. 30' (T. M. G.) del 13/XI/1989, pone de relieve con nitidez la estructura a gran escala de una perturbación (depresión fría) emplazada en 35°N al SW de cabo de San Vicente, con nubosidad convectiva organizada en forma de espiral, a modo de un frente frío. El sistema frontal interesa a la mitad Sur de la Península, golfo de Cádiz, Estrecho y Marruecos. El tiempo inestable con chubascos tormentosos de cierta intensidad. Destacan: 28 mm. en Sevilla (San Pablo), 12 mm., en Huelva, 29 mm. en Jerez de la Frontera y 2 mm. en Málaga.

ción zonal, se desplazan por nuestras latitudes. Encauzadas a través del golfo de Cádiz, Estrecho de Gibraltar, Mar de Alborán, Mediterráneo o bien desde el paraje de Azores, Galicia, Cantábrico, Ebro, Mediterráneo. La perturbación se corresponde con una baja fría en altura, con aguaceros y tormentas. En el área mediterránea, las lluvias intensas preferentemente van ligadas a circulación de Levante (NE, SE o E) en las capas bajas y flujo del SW difluente en altura, correspondiente al borde oriental de un embolsamiento o gota fría sobre el Mediterráneo Occidental, región del Estrecho o golfo de Cádiz. La advección de aire polar al área de San Vicente o región del estrecho de Gibraltar provoca el calentamiento de su base inferior, intensificándose la inestabilidad, con desarrollo de nubosidad convectiva. Las precipitaciones muestran una acusada irregularidad interanual, dependiente del normal desplazamiento o retraso, en su retirada hacia el Sur, del anillo

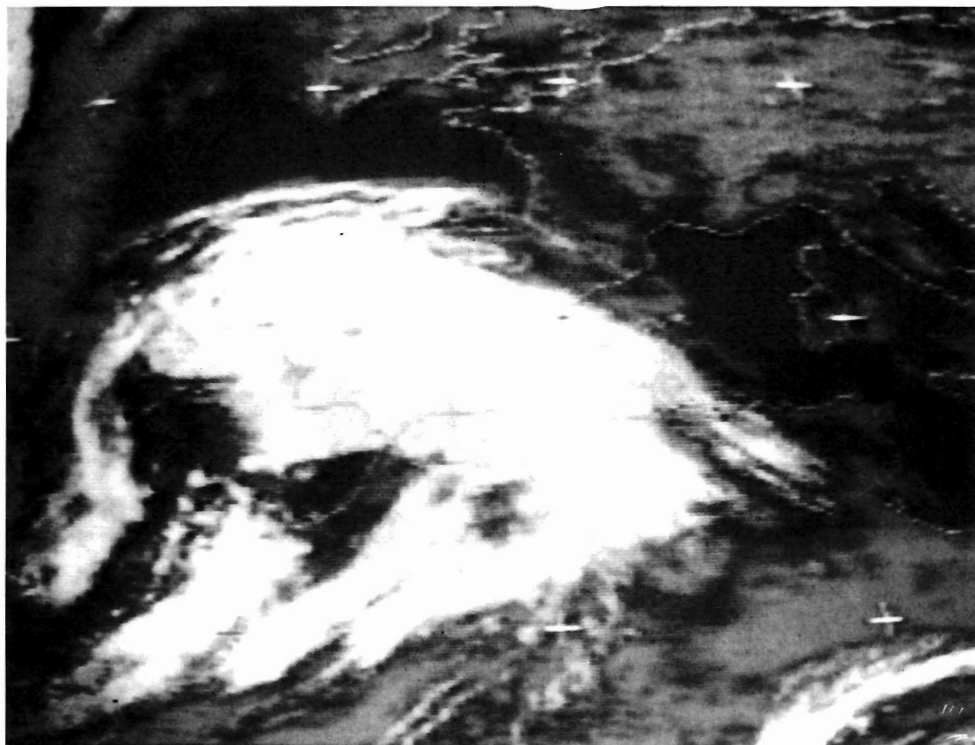


LÁMINA 2. La imagen infrarroja de METEOSAT, 07 h. (T. M. G.) del 14/XI/1989, muestra la perturbación atlántica centrada al SW de cabo de San Vicente. Un frente ocluido interesa al Mar de Alborán, Galicia, centro y mitad meridional de España. La nubosidad aparece muy compacta (nubes cumuliformes) sobre todo en el extremo sur de España, donde tienen lugar las lluvias más intensas.

subtropical anticiclónico, y sobre todo, el anticiclón de las Azores. De ahí que durante los otoños secos (la aridez se extiende hasta noviembre, como ha ocurrido recientemente en 1981, 1982 y 1985, el anticiclón de Azores y los tipos de tiempo que origina, sea la nota distintiva. En cualquier caso, el otoño, es sin duda, la estación más lluviosa del año en la Península, a consecuencia de aguaceros en el Mediterráneo o por la acción de perturbaciones atlánticas cuyos sistemas nubosos asociados penetran por Galicia, golfo de Cádiz o golfo de Vizcaya, generadoras de copiosas precipitaciones (García de Pedraza y García Sanjuán, 1979).

Esporádicamente suelen aparecer las primeras advecciones de aire polar, con descenso acusado térmico, ligadas a anticiclones polares oceánicos que provocan las primeras heladas, con cielos despejados. Durante las horas nocturnas se acelera el descenso termométrico, particularmente en depresiones, hoyas, fondos de valles y altiplanicies meseteñas, donde se acentúan los procesos propios de irradiación, por su continentalidad (Capel Molina, 1981).

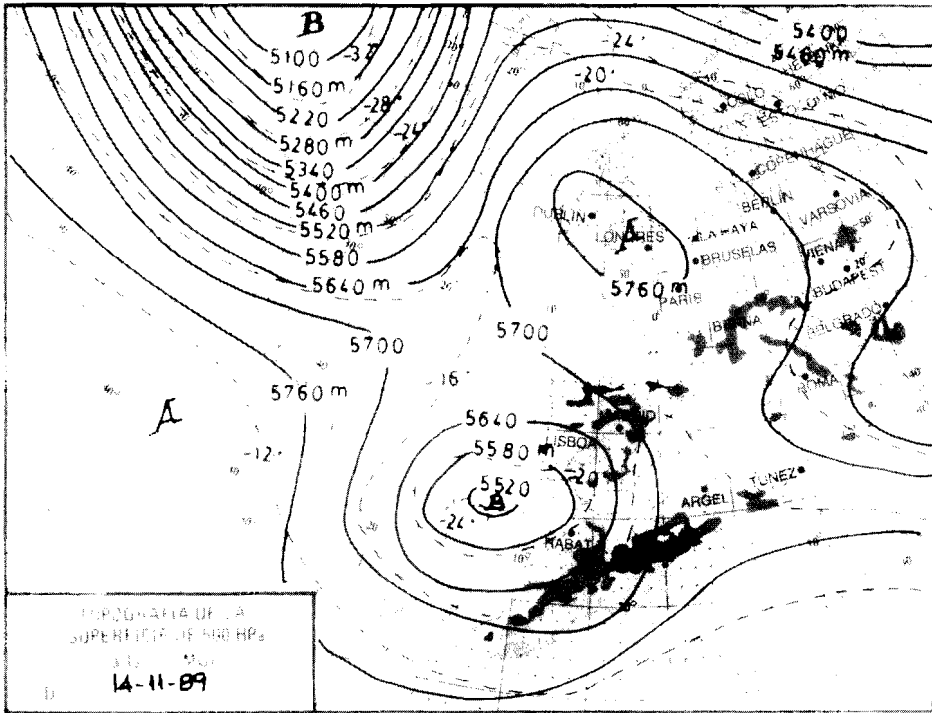


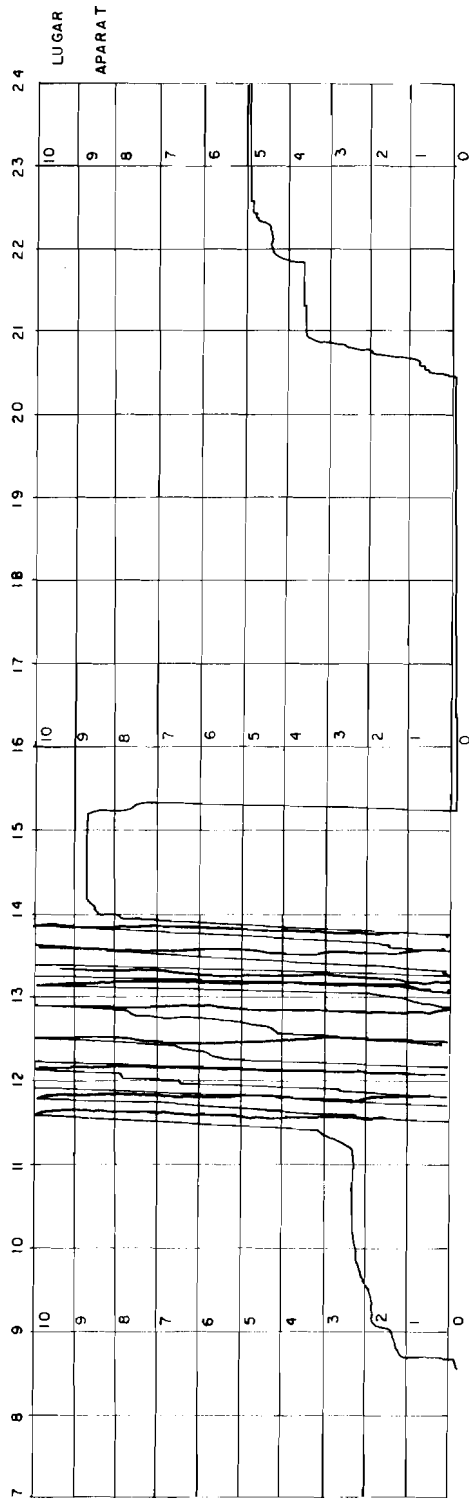
FIGURA 7. En la España del Sur y sobre todo en Andalucía, posee gran trascendencia este dispositivo bórico de los centros de acción atmosféricos, pues corresponde a las regiones del Sur de la Península, la influencia de la depresión fría, con temporales lluviosos y vientos fuertes del tercer cuadrante (Suroeste y Sur).

LA SITUACIÓN ATMOSFÉRICA DE NOVIEMBRE DE 1989

Es necesario puntualizar que la formación de una gota fría sobre el Atlántico Subtropical, en la región entre Madeira y cabo de San Vicente, que constituye "un foco latente de actividad ciclogénica" (Linés Escardó, 1953) y su posterior desplazamiento hacia el estrecho de Gibraltar, ha dado lugar a una ciclogénesis en superficie muy activa, traducándose en hidrometeoros muy violentos. Grandes aguaceros y crecidas de los ríos y ramblas del Mediterráneo andaluz dieron lugar a inundaciones tan desastrosas como las de octubre de 1957 (García Miralles y Carrasco Andreu, 1958), octubre de 1973 (Capel Molina, 1974) (Miró-Granada Gelabert, 1976) y más recientemente de octubre de 1982 (Pérez Cueva y Armengot, 1983) (Rosselló Verger, 1983) (Gil Olcina, 1983).

El desarrollo por parte de esta ciclogénesis violenta de un flujo subtropical marítimo del Sur, que incide perpendicularmente sobre las alineaciones montañosas del Sureste de la Península (litoral de Cádiz, Málaga, Granada y Almería), la advección de aire tropical continental bien visible a 850 y 700 mb en días anteriores, el aire frío de niveles altos y la marcada advección de vorticidad ciclónica en altura y altos contenidos de humedad,

NOVIEMBRE 1.989
 COLOCADA EL DÍA 14 HORA 08'30 Z
 RETIRADA EL DÍA 15 HORA 08'00 Z



Noviembre 1989. Colocada el día 14, hora 08'30 Z. Retirada el día 15, hora 08'00 Z. Torrencialidad de la precipitación (143 mm.) según muestra el pluviógrafo del Aeropuerto de Málaga.

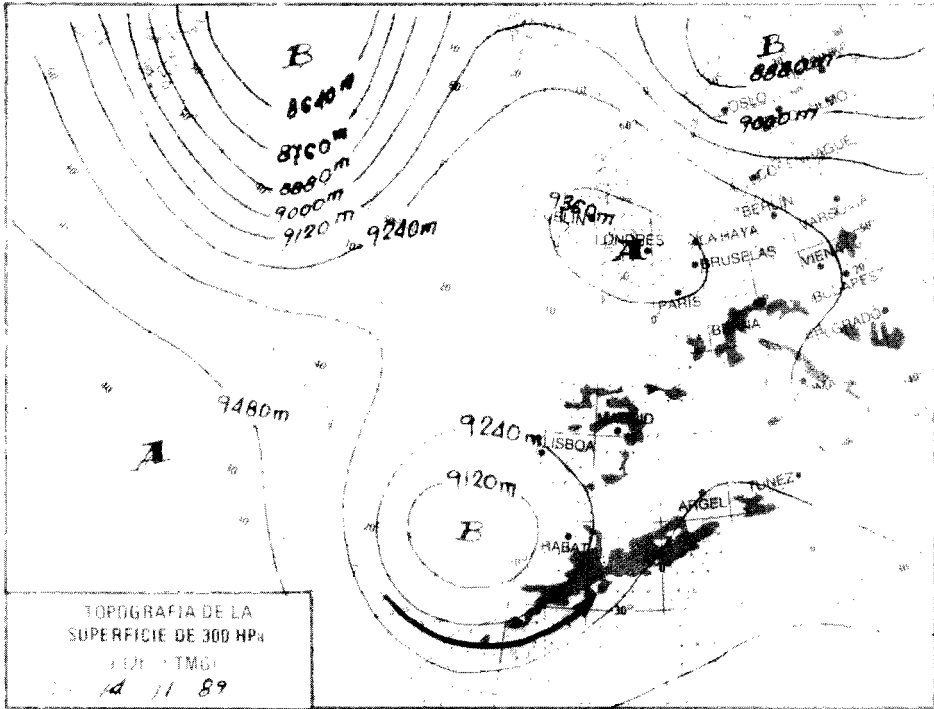


FIGURA 8. Se configura la clásica ruptura de la circulación zonal, con dispositivo bórico en forma de rombo de las líneas de flujo. Con sistema formado por anticiclón al norte y depresión fría al Sur. Un ramal del Chorro Subtropical aparece sobre la vertical del sur de la Península, y Atlas, que se superpone a la entrada de flujo del Sur en las capas bajas, provocando una fuerte succión de la masa superficial, acelerando pues los procesos termoconvectivos.

fueron factores que propiciaron enormes Cumulonimbos y aguaceros. Tras un período corto anti ciclónico del 6 al 9 de noviembre, en el que la Península se ve gobernada por las altas subtropicales marítimas del Atlántico Norte, la expansión hacia el Sur de una advección meridiana de aire polar, dará lugar a la individualización de una gota fría sobre la región de Madeira, golfo de Cádiz, con aguaceros y tormentas en la España del Sur.

El día 10 de noviembre, en niveles altos, una vaguada planetaria se formaliza a lo largo del meridiano 20°W , al mismo tiempo que avanza ligeramente de Oeste a Este, va ganando amplitud, profundizando el aire frío hacia el Sur. La isoterma de -16° gravita sobre el archipiélago canario, a 500 mb.

La vaguada se estrangula y da lugar a una gota fría con aire a -20° al oeste de Lisboa, a 500 mb. el día 11. La evolución observada en la situación meteorológica es análoga a la de otras tantas ocasiones que han desencadenado lluvias torrenciales en España. Esto se ha puesto de manifiesto en investigaciones iniciadas por nosotros hace una veintena de años, aunque se detectan algunas singularidades diferenciadoras (Capel Molina, 1971, 1974, 1977, 1980, 1981, 1983, 1985, 1987, 1989, 1990). En superficie un frente frío,

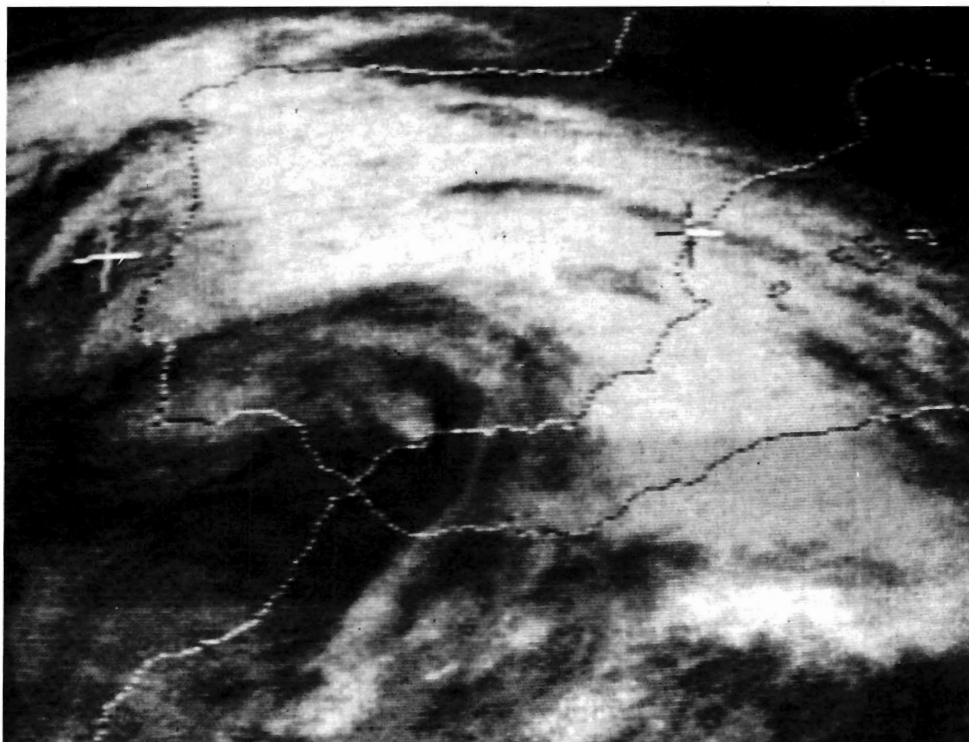


LÁMINA 3. El canal de absorción de vapor de agua de METEOSAT, 11 h. 30' del 14/XI/1989 revela la riqueza en vapor de agua en el extremo Sureste y Norte de la Península, e igualmente aparece un núcleo muy denso sobre la cuenca del río Guadalhorce, correspondiéndose con un núcleo de convección profunda.

arrastrado por una fuerte corriente polar del cuarto cuadrante (NW-SE) se aproxima a las costas de Galicia y Portugal. El frente se ondula y da lugar a una ciclogénesis poco profunda pero muy violenta en sus efectos. El día 12 de noviembre las bajas presiones muestran dos núcleos cerrados, uno al NW de Galicia y otro, muy al Sur sobre las costas de Casablanca. El día 13 se disuelve el núcleo del Noroeste gallego y permaneciendo estacionario el vórtice del golfo de Cádiz y costas de Marruecos, con presiones en su centro de 1.000 mb. Dicho centro permanece durante los días 13, 14 en el área marítima entre Madeira y cabo de San Vicente, asociado a un sistema frontal en fase de oclusión que interesa a la región del estrecho y Mar de Alborán. Lo que se traduce en violentas tormentas registrándose en 24 horas, 210 mm. en Alora Estación, 230 mm. en Cartama P. Fahala y 140 mm. en Málaga (Aeropuerto) que queda inundada en su sector oeste por las aguas desbordadas del río Guadalhorce, quedando colapsada la vida en la ciudad. Del 15 al 16, la perturbación más debilitada, en un proceso continuo de relleno, pasa por el extremo meridional de la Península al Mediterráneo. La presión aumenta de 1.000 mb. en

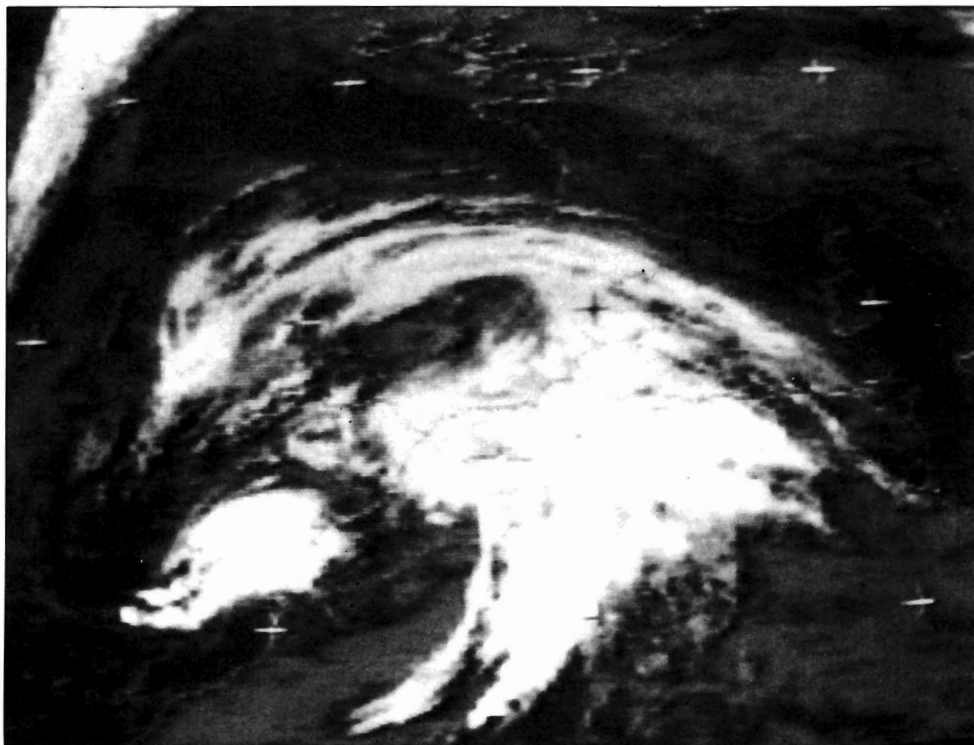


LÁMINA 4. La imagen infrarroja de METEOSAT, 20 h. 30' (T. M. G.) del 14/XI/1989, revela abundante nubosidad en la región levantina, Mediterráneo andaluz, Estrecho, Mar de Alborán, Marruecos. La presencia en niveles altos de un Chorro secundario del Sur acelera el disparo vertical de las células convectivas que adquieren un rápido desarrollo. Se forman núcleos de convección profunda sobre el área del Estrecho, Málaga, Mar de Alborán y Levante. Una gran tormenta arroja en la ciudad de Málaga 138 mm.

el día 14, a 1.008 mb. el día 16, y posteriormente absorbida por una vaguada atlántica de la circulación general superior el día 17.

El día 14 a las 12 h. aparece la clásica ruptura de la circulación zonal, con dispositivo en forma de rombo de las líneas de flujo, con bifurcación en dos ramales: uno dirigido hacia el NE y otro hacia el SE. Ramales que nuevamente se juntan tras girar, respectivamente, los dos nuevos chorros hacia el SE y NE, con el clásico sistema de célula anticiclónica al Norte y vórtice frío del Sur. En la España del Sur y sobre todo Andalucía, posee gran trascendencia este dispositivo bórico de los centros de acción atmosféricos, pues corresponde precisamente a las regiones del Sur de España la influencia de la depresión fría, con temporales lluviosos y vientos fuertes del tercer cuadrante (Suroeste). A 300 mb., aparece un ramal del chorro subtropical sobre la vertical del Sur de la Península y Atlas, que se superpone a la entrada de un flujo del Sur, en las capas bajas de la atmósfera, provocando una fuerte succión de la masa superficial, acelerando los procesos termoconvectivos.

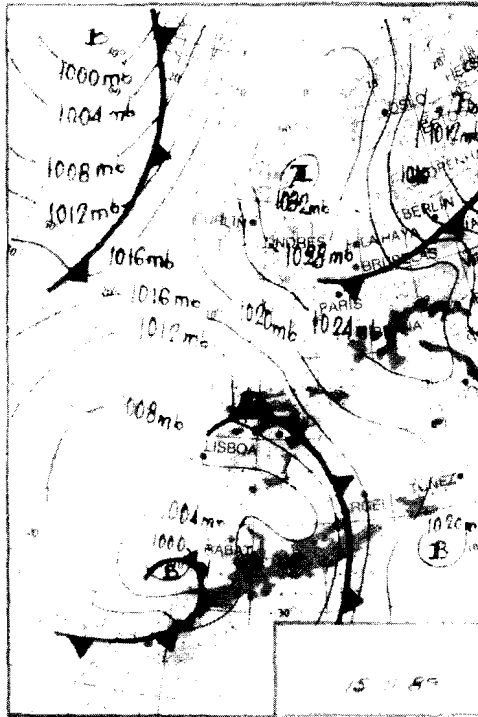
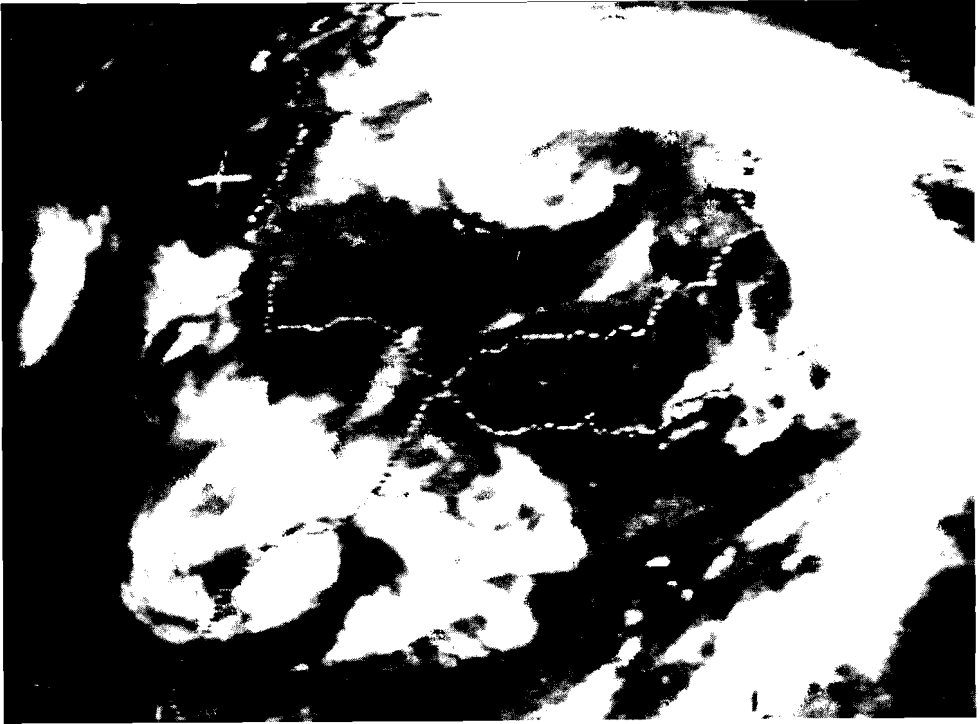


FIGURA 9. Situación atmosférica de superficie del 15 de noviembre de 1989, a las 06 h. (T. M. G.).

MAPA PLUVIOMÉTRICO DE TEMPORAL DE LOS DÍAS 13 AL 15 DE NOVIEMBRE DE 1989 EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL SUR DE ESPAÑA

Hemos elaborado el mapa de isoyetas de las precipitaciones acumuladas de los días 13, 14 y 15 de noviembre de 1989. Está basado en las observaciones efectuadas en las estaciones de la Red Pluviométrica de la Cuenca Sur y facilitadas por el Centro Meteorológico Zonal de Málaga. Han sido utilizadas 185 estaciones pluviométricas distribuidas en las cuencas hidrográficas de los ríos Alamanzora, Antas, Aguas, Andarax, Adra, Guadalfeño, Guadalmedina, Guadalhorce, Guadiaro y Guadarranque, así como en otras cuencas de ríos menores y ramblas.

En él se pone de relieve la localización de núcleos importantes de más de 200 mm., en el curso alto del río Alamanzora (Albanchez), enclave litoral al suroeste de Málaga (Benalmadena) y sobre todo en el curso medio y alto del río Guadalhorce (Pantano Guadalhorce, Las Mellizas, Alora Estación, Cartama P. Fahala, Pizarra). Se destaca el efecto orográfico sobre la distribución de la precipitación. Las lluvias más intensas registradas los días 13, 14 y 15 de noviembre, se localizaron preferentemente en zonas próximas a relieves expuestos directamente a la influencia de vientos del tercer cuadrante (en las provincias de Málaga, Granada) y del Sureste (en la provincia de Almería), por la



LAMINA 5. El canal infrarrojo de METEOSAT, 07 h. 30' del 15/XI/1989, pone de relieve como el centro de la perturbación atlántica se ha movido hacia el Este, situándose en las costas de Casablanca. Siniultáneamente otro vórtice depresionario subordinado al mínimo atlántico, aparece centrado sobre la Meseta Castellana, asociado a un frente ocluido, con nubosidad convectiva muy desarrollada interesando al tercio Norte de España y Mediterráneo.

posición de la perturbación al suroeste de la Península. El flujo aéreo marítimo del sector Sur, en su avance hacia el interior peninsular, se vio frenado por las alineaciones costeras de la Cordillera Penibética. Al intentar salvar dichos obstáculos litorales, aumentó la turbulencia y la componente vertical de la masa de aire que ascendía por la vertiente de barlovento. Como la corriente aérea del Sur o Sureste mantenía un fuerte grado de humedad relativa era suficiente un débil obstáculo de escasa altitud para que el aire llegase a la saturación, condensándose su alto contenido en vapor de agua. Por lo que el relieve actuó acelerando la ascendencia del flujo húmedo del Sur que alcanzaba con rapidez su condensación. Las condiciones óptimas de altura (presencia de un ramal secundario de la corriente en chorro sobre el canal de Alborán que provocaba una fuerte succión de la masa superficial) se conjugaban con las del relieve andaluz, de ahí los enormes cumulonimbos y aguaceros. Las precipitaciones de los días 13 y 14 de noviembre se vieron ligadas, en gran parte, a fenómenos tormentosos, como manifiestan las

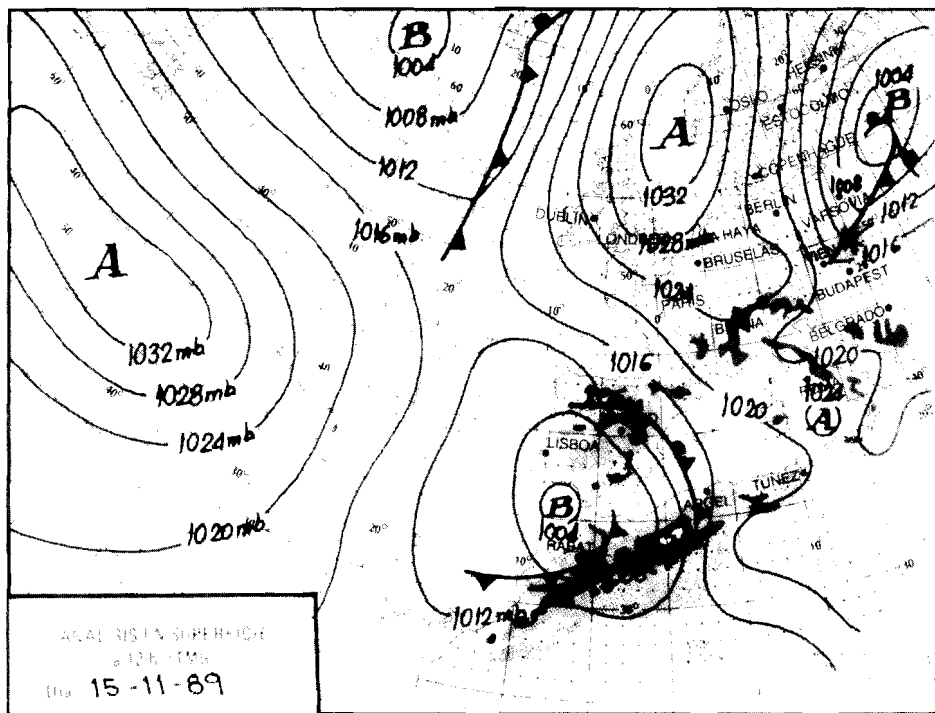


FIGURA 10. Situación atmosférica de superficie del 15 de noviembre de 1989, a las 12 h. (T. M. G.).

imágenes de satélites en canal infrarrojo y vapor de agua, con áreas de nubosidad compacta en su estructura y de intensa tonalidad blanca en la provincia de Málaga, lo que indica que se trata de nubosidad convectiva de tipo cumuliforme y en gran parte Cumulonimbos.

Son muy llamativos los 309 mm. del observatorio de Pizarra en el curso medio del río Guadalhorce, anotados en 48 horas, 230 mm. en 24 horas en el observatorio de Cartama P. Fahala.

CAUSAS METEOROLÓGICAS DE CICLOGÉNESIS VIOLENTAS Y AGUACEROS EN LA ESPAÑA MEDITERRÁNEA

Los caracteres del tiempo y muy especialmente los mecanismos de la precipitación en España se desarrollan paralelamente y se subordinan, esto es, son dependientes en relación a las condiciones de abrigo. El concepto de "abrigo" se entiende en una doble vertiente: aerológica y topográfica. de todos es conocido el abrigo topográfico puesto en evidencia por geógrafos y meteorólogos. La sequedad del levante andaluz, a diferencia de la alta pluviometría del golfo de Cádiz, Guadalquivir, Cádiz y Oeste montañoso de Málaga, hay que ponerlo en relación con la presencia de obstáculos orográficos importan-

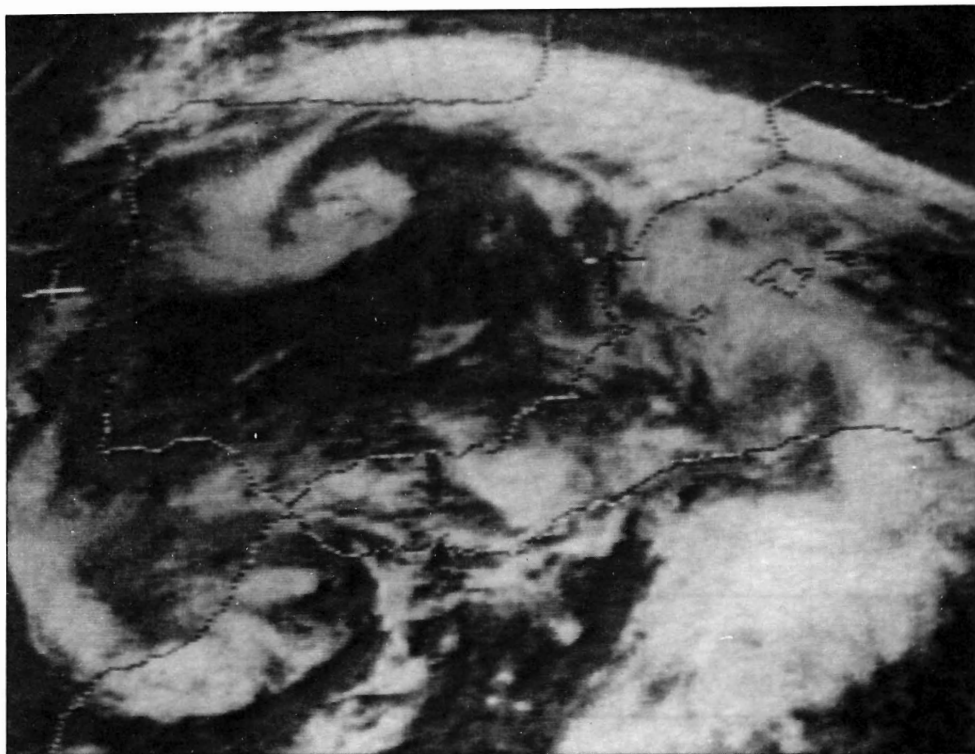


LÁMINA 6. La imagen infrarroja de METEOSAT, 12 h. (T. M. G.) del 15/XI/1989 revela el desplazamiento de la perturbación atlántica hacia el golfo de Cádiz y área del Estrecho de Gibraltar. La nubosidad convectiva se organiza a modo de un frente frío, afectando a Marruecos y Mar de Alborán.

tes, en este caso la cadena de las Cordilleras Béticas, que crea una acusada sombra pluviométrica que se proyecta ante los ponientes atlánticos. Así mientras en la fachada atlántica, se registran 1.200 mm. en Aracena, 2.200 mm. en Grazalema, 900 mm. en Gibraltar y 1.000 mm. en Ronda, a sotavento de la Cordillera, en las cuencas deprimidas de Baza, Gaudix, Huéscar o Levante almeriense, los bosques espesos atlánticos de Alcornocues, encinas y coníferas son sustituidos por la estepa, con vientos frecuentes de tipo foehn, recalentado adiabáticamente en toda estación con circulación zonal de Poniente, con una pluviometría anual inferior a 300 mm.

No obstante los tipos de tiempo y las precipitaciones de la fachada sur-occidental de Europa se desarrolla prioritariamente en relación con el abrigo aerológico, ello explica el carácter del tiempo perturbado o en calma; según que estemos bajo curvatura ciclónica o anticiclónica del flujo atmosférico en las capas altas (500 mb.). Coincide a grandes rasgos con el borde sur del torbellino circumpolar, en el borde meridional por donde discurre el Jet Polar y las perturbaciones ligadas a la ondulación del frente polar. Andalucía escapa

CICLOGÉNESIS VIOLENTA EN EL MEDITERRÁNEO

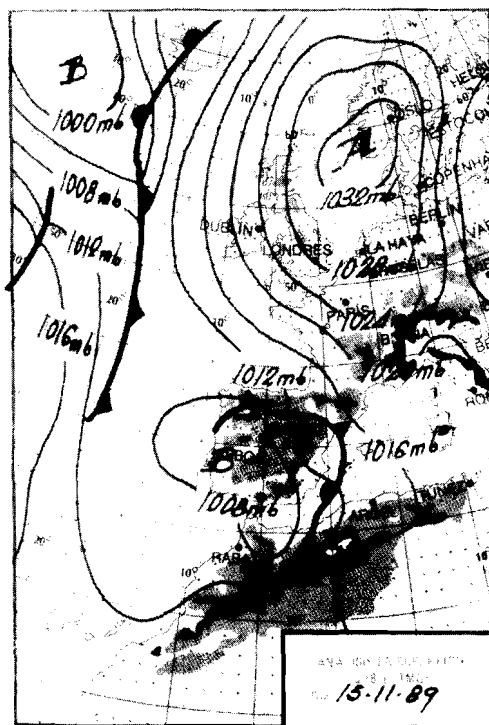


FIGURA 11. Situación atmosférica de superficie del 15 de noviembre de 1989, a las 18 h. (T. M. G.).

de la turbulencia de la zona polar de mezcla situada por lo general al norte del paralelo 40°N , espacio donde las irrupciones frías desencadenan mecanismos ciclogénéticos intensos.

Estamos pues en una posición marginal, sobre el flanco meridional del flujo zonal del Oeste. Por consiguiente, las fases de onda planetaria de la corriente zonal del Oeste van a explicar la atemancia de períodos húmedos y secos, en función de que estemos o no en la zona de convergencia (vaguada, depresión fría) o zona de divergencia (dorsal, anticiclón).

Así pues, una extensa vaguada planetaria de la circulación superior, estacionaria sobre las costas occidentales europeas, fue la responsable de los mecanismos pluviométricos. El eje de la vaguada estuvo sobre 15°W , lo que permitió la formalización de un intenso flujo inestable del SW sobre la mitad meridional de la Península, originando un período de lluvias que ocasionalmente fueron torrenciales en Málaga y Cádiz.

En la génesis de lluvias catastróficas que interesan, preferentemente a la orla mediterránea de la Península, suelen converger una serie de factores (García Sainz, 1959), (Capel Molina, 1974, 1977), (García Dana et al., 1982) (García de Pedraza, 1983), (Albentosa, 1983), (Tomás Quevedo, 1963, 1972), (Miró-Granada Gelabert, 1976), (Quereda Sala, 1984, 1989) más entre todos ellos quizás la T^{a} de la superficie del mar es el que ha gozado del favor entre la comunidad científica, a través de la intensa evaporación que genera en las épocas más cálidas del año, suministrando a la atmósfera enormes

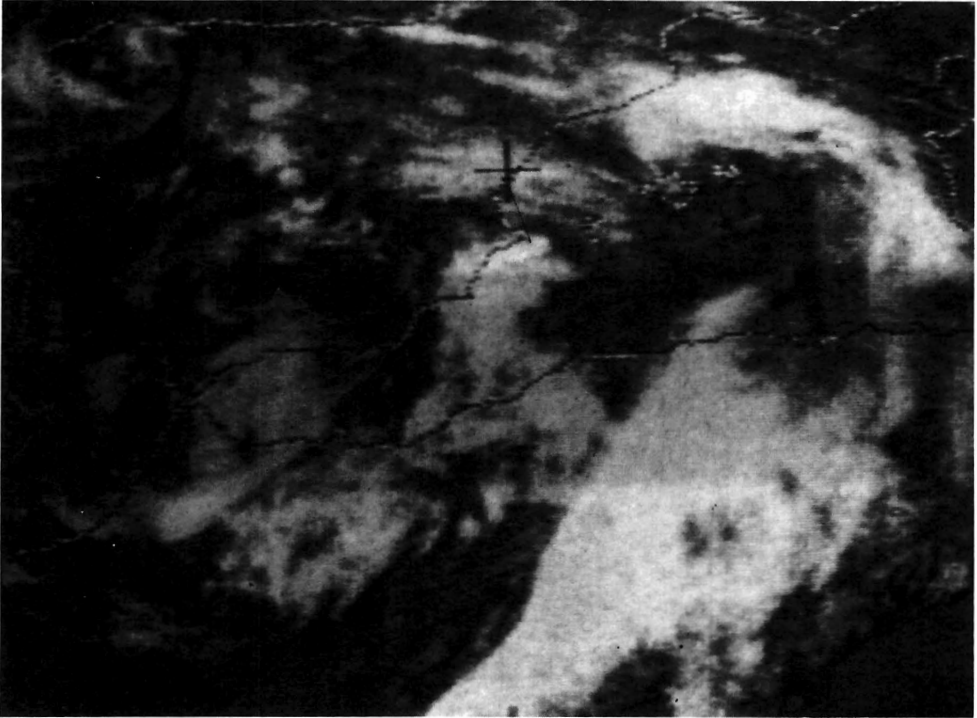


LÁMINA 7. La imagen infrarroja de METEOSAT, 19 h. (T. M. G.) del 15/XI/1989 aprecia el traslado de la perturbación hacia Andalucía Oriental. La nubosidad asociada al frente frío interesa al Sureste y Levante español. Igualmente aparecen células convectivas sobre el Estrecho y litoral de las provincias de Málaga y Granada. Se producen chubascos en el País Valenciano y zona oriental de la Meseta.

volúmenes de vapor de agua. Las cadenas Béticas así como las montañas que circunvalan el Mar de Alborán juegan un papel importante por el efecto mecánico de disparo en el ascenso forzado del aire. Máxime cuando estos relieves se encuentran escalonados altitudinalmente, facilitando el represamiento de los flujos de aire, con desarrollo de núcleos convectivos. La temperatura moderadamente alta superficial y la fuerte evaporación generan altas tensiones de vapor, factor necesario que conlleva los aguaceros. La incidencia de la gota fría en las capas altas, al SW de la Península, genera violentas tormentas. De gran interés es la irrupción de aire cálido en superficie, bien visible entre 850 y 700 mb., hacia el área de mayor inestabilidad, provocando un fuerte gradiente térmico vertical. Igualmente la presencia en el borde oriental de una gota fría, de una difluencia de las isohipsas, provoca una fuerte succión de la masa superficial, acelerando su ascenso, forzando el efecto de disparo, desencadenando pues inestabilidad convectiva.

Un factor que parece ser decisivo en la explicación genética de las lluvias convectivas en el área mediterránea, ha sido puesto de manifiesto recientemente en diversas investiga-

CICLOGÉNESIS VIOLENTA EN EL MEDITERRÁNEO

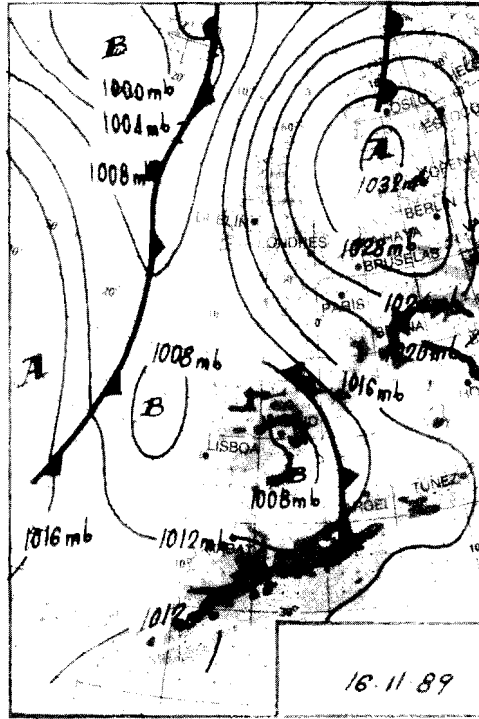


FIGURA 12. Situación atmosférica de superficie del 16 de noviembre de 1989. a las 06 h. (T.M.G.).

ciones, (Rivera, 1985), (Rivera y Juega, 1986), (Rivera y Riosalido, 1986), (Capel Molina, 1989) y que muestran un gran paralelismo con investigaciones sobre complejos convectivos realizados por Maddox para los EE. UU. (Maddox, 1980, 1983), (Bo Chang, 1989) y México (Maddox y Howard, 1988).

Ciertamente la naturaleza convectiva mesoscálica de los aguaceros torrenciales del Mediterráneo español escapan a un adecuado control sinóptico. En el caso de convección profunda, como la situación del 14 y 15 de noviembre de 1989, sobre el Mediterráneo andaluz (gran inundación de la ciudad de Málaga) su aparición no es fortuita, sino consecuencia de un estado atmosférico concreto en un lugar determinado. Diferentes núcleos de convección profunda, por sucesivas interacciones entre ellos, dan lugar a estructuras convectivas muy complejas generadoras de los grandes diluvios. Este proceso mesoscálico puede ser seguido a través de las imágenes en canal infrarrojo ofertado por satélites meteorológicos. El factor decisivo en la iniciación de precipitaciones intensas que genera las estructuras convectivas radica en el acoplamiento en una región, de la zona de salida de un chorro principal o secundario en altura y un flujo cálido, incluso a veces un chorro en niveles bajos, hecho que ocurría en la situación de lluvias torrenciales de octubre de 1982 en Levante y Murcia (Rivera, 1987), también en la situación de lluvias torrenciales de julio de 1986 en el altiplano murciano y flanco oriental de la Meseta y

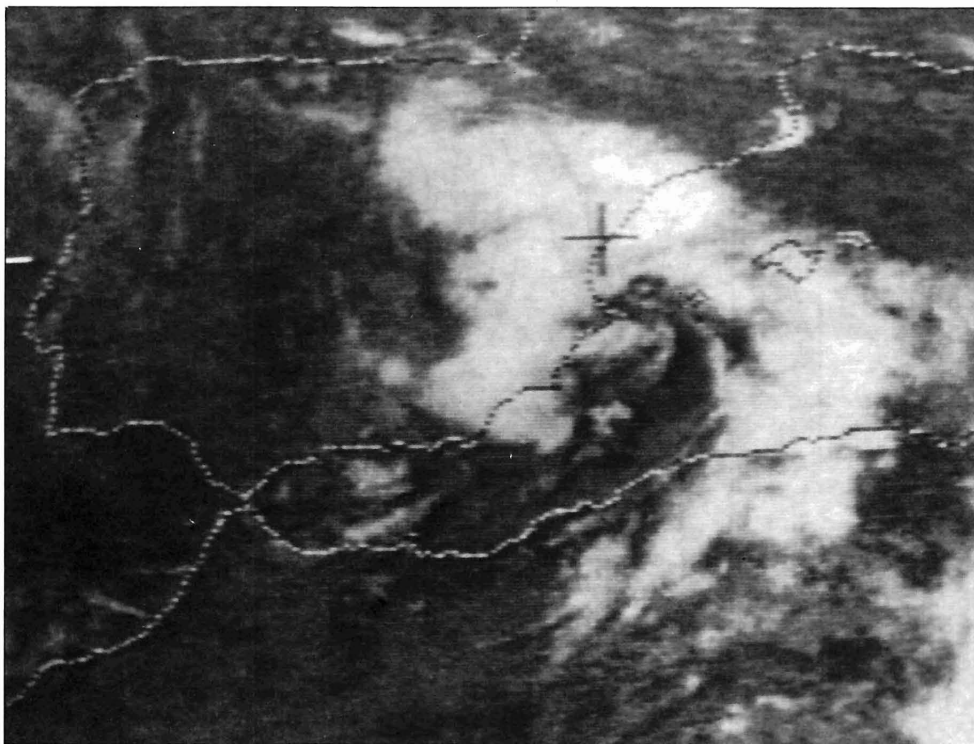


LÁMINA 8. La imagen infrarroja de METEOSAT, 7 h. (T. M. G.) del 16/XI/1989 revela una intensificación de la nubosidad convectiva asociada al frente frío que interesa a la mitad oriental de la Península donde se dirige la fuerte inestabilidad, con fuertes tormentas.

La perturbación se ha trasladado hacia el Mar de Palos, quedando la mitad occidental de la Península, región del Estrecho y Mar de Alborán dentro de la zona subsidente de la gota fría (aire descendente) de ahí los cielos despejados en estas regiones.

Valencia (Capel Molina, 1987) y como aparece también en las graves inundaciones y tormentas de noviembre de 1987 y septiembre de 1989. Para Rivera y Maddox, una vez que el complejo convectivo se ha formalizado, su evolución y comportamiento en las horas siguientes parece depender más de su propio ciclo de vida a nivel mesoscálico que de la estructura sinóptica siempre que ésta no experimente grandes cambios.

En la situación atmosférica excepcional de precipitación tormentosa del 14 de noviembre de 1989, nosotros consideramos que ha sido, ante todo, la entrada de aire fresco y húmedo del Suroeste de procedencia atlántica, el factor que ha tenido en esta ocasión un mayor protagonismo como aporte higrométrico. El traslado de la perturbación en altura hacia el Este (cabo de San Vicente-Sureste Ibérico) adiciona al flujo cálido del Sur, una corriente del SW difluente en altura, originando movimientos verticales y de turbulencia que incentivaron la proliferación de enormes cumulonimbos. Los sondeos apuntan el mayor protagonismo del Atlántico, con el aporte principal de vapor de agua, aunque sin descartar el aporte de vapor en niveles bajo desde el Mediterráneo, aunque con un anterior recorrido oceánico.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBENTOSA SÁNCHEZ, L. M. (1983): "Precipitaciones excepcionales e inundaciones durante los días 6 al 8 de noviembre de 1982 en Cataluña". *Estudios Geográficos*, XLIV. núms. 170-171, Madrid, pp. 229-273.
- BALLESTER, M.; JANSA, A. y RAMIS, C. (1982): "Ondas cortas atmosféricas con interacciones aire-masa en el Mediterráneo". *Rev. de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. LXXVI, pp. 692-698.
- BO CHANG. (1988): "Impact of mexican data on the numerical weather prediction of severe convective storms in the south-central United States". III Congreso Interamericano de Meteorología, Organización Mexicana de Meteorólogos. México, D. F., pp. 94-98.
- BURTON, I y MOON, J. (1971): "The perception of the hazardousness of a place". International Geographical Congress. Budapest.
- BUZZI, A., and SPERANZA, A. (1983): "Cyclogenesis in the Lec of the Alps". In: Mesoscale Meteorology-Theories, Observations and Models (ed. Lilly and Gal-Chen), NATO ASI Series, C-114.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1974): "Génesis de las inundaciones de octubre de 1973 en el Sureste de la P. Ibérica". *Rev. Cuadernos Geográficos*. Universidad de Granada. pp. 149-166.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1980): "Situaciones de lluvias torrenciales en el litoral mediterráneo español". *Anales de Ciencias*. Colegio Universitario de Almería, pp. 121-138.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1981): Los climas de España. Oikos-Tau. Barcelona.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1983): "Situaciones sinópticas de lluvias intensas en la Meseta Castellana". *Anales de Geografía*. Universidad Complutense. Año III. Madrid. pp. 105-123.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1983): *El clima de la España Cantábrica. Las inundaciones de agosto de 1983 en el País Vasco, Cantabria y Navarra Atlántica*.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1977): "Los torrenciales aguaceros y crecidas fluviales de los días 25 y 26 de octubre de 1977 en el litoral levantino y sur mediterráneo de la P. Ibérica". *Paralelo 37º*, núm. 1, Colegio Universitario de Almería, pp. 109-132.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1985): "Das Unwetter vom August 1983 im Kantabrischen Spanien (Baskeland, Kantabriuen und Atlantisches Navarra)". *Erkunde*, Archiv. Für Wissenschaftliche Geographie. Bonn. pp. 152-157.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1987): "Inundaciones y avenidas de los ríos de Almería". *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses*. núm. 7. Ciencias, pp. 25-42.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1989): "Incidencia de termoconvectividad en las lluvias torrenciales de la España Mediterránea". En Avenidas fluviales e Inundaciones en la Cuenca del Mediterráneo. Instituto de Geografía y Caja de Ahorros del Mediterráneo, pp. 89-105.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1989): "Las lluvias torrenciales de noviembre de 1987 en Levante y Murcia". *Estudios Románicos*, Vol. 6. Homenaje al Profesor Luis Rubio III, Universidad de Murcia, pp. 1551-1562.
- ELÍAS CASTILLO, F. (1984): "Criterios climatológicos por la definición de la región mediterránea". En III Jornadas de Cultura Árabe e Islámicas. Instituto Hispano-Árabe de Cultura, Madrid, pp. 7-20.
- CASTEJÓN CHACÓN, J. (1986): "Notas sobre las inundaciones de levante de los días 19-20 de octubre de 1982". *Rev. de Meteorología*, A. M. E. Madrid. diciembre, pp. 41-44.
- DOSWELL, C. A. (1982): "The Operational Meteorology of Convective Weather". Vol. I: Operational Mesoscale analysis. NOAA Tech. Memorandum NWS NSSFC-5, Kansas City (Mi).
- DOSWELL, C. A. (1985): "The Operational Meteorology of Convective Weather". Vol. II: Storm Scale Analysis. NOAA Tech. Memorandum ERL ESG-15, Boulder (Co).
- DURÁN VALSERO, J. J. y LAMAS ROMERO, J. L. (1985): "Las inundaciones de Andalucía". En *Geología y Prevención de daños por Inundación*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 335-441.
- GARCÍA DANA et Alt. (1982): *Situación atmosférica causante de lluvias torrenciales durante los días 19 y 21 de octubre de 1982 en el Levante español*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. (1983): "Situaciones atmosféricas tipo que provocan aguaceros torrenciales". *Estudios Geográficos*. XLIV, núms. 170-171. Madrid, pp. 61-73.
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. y GARCÍA SANJUÁN, J. (1979): "Caracteres agroclimáticos del año". Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- GARCÍA MIRALLES, V. y CARRASCO ANDREU, A. (1958): *Lluvias de intensidad y extensión extraordinarias, causantes de las inundaciones de los días 13 y 14 de octubre de 1957, en las provincias de Valencia, Castellón y Alicante*. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid.

- GARCÍA SAINZ, L. (1959): "Las crecidas fluviales norteamericanas e hispanolevantineas, consecuencia del relieve en la circulación aérea". *Estudios Geográficos*, núm. 74. Madrid, pp. 5-20.
- GIL OLCINA, A. (1983): "Lluvias excepcionales en la noche del 19 al 20 de octubre de 1982 y riada del Barranco de las Ovejas". *Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante*, Alicante, pp. 5-24.
- FONT TULLOT, I. (1983): "Algunas observaciones sobre las lluvias excepcionales en la vertiente mediterránea española". *Estudios Geográficos*, XLIV, Madrid, núms. 170-171, pp. 55-60.
- FONT TULLOT, I. (1988): *Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 297 p.
- JANSÁ CLAR, A. (1974): "Investigación del máximo pluviométrico de España peninsular". *Rev. Geofísica*, XXX, pp. 17-32-49.
- JANSÁ, A. (1978): "Inestabilidad baroclina y ciclogénesis en el Mediterráneo occidental", Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- JANSÁ, A. (1986): "Respuesta marina a perturbaciones mesometeorológicas: la Rissaga de 21 de junio de 1984 en Ciutadella (Menorca)". *Rev. de Meteorología*, Junio, Madrid, pp. 5-29.
- LINES ESCARDO, A. (1981): "Perturbaciones típicas que afectan a la P. Ibérica y precipitaciones asociadas. I. N. M., Pub. A-80, Madrid.
- LINES ESCARDO, A. (1953): "Los temporales de las Islas Canarias". *Estudios Geográficos*, XIV, Madrid, pp. 345-361.
- LINES ESCARDO, A. (1970): *The climate of the Iberian Peninsula*. Climates of Northern and Western Europe. C. C. Wallen. World Survey of Climatology, Vol. 5. Amsterdam.
- MADDOX, R. A. (1979): "A methodology for forecasting heavy convective precipitation and flash flooding". *National Weather Digest*, 4, 30-42.
- MADDOX, R. A. (1980): "Mesoscale Convective Complexes". *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 61, pp. 1.374-1.387.
- MADDOX, R. A.; CHAPPELL, C. F., and HOXIT, L. R. (1979): "Synoptic and Meso-alpha Scale Aspects of Flash Flood Events". *Bull. Amer. Met. Soc.*, 60, 115-123.
- MADDOX, R. A.; CÁNOVA, F., and HOXIT, L. R. (1980): "Meteorological Characteristics of Flash Flood Events over the Western United States". *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1866-1877.
- MADDOX, R. A.; DOSWELL, C. A. (1982): "An examination of jet stream configurations, 500 mb. vorticity advection and low level thermal advection patterns during extended periods of intense convection". *Mon. Wea. Rev.*, III, pp. 1.475-1.492.
- MADDOX, R. A.; HOWARD, K. W. (1988): "Mexican mesoscale convective Systems—Two case examples". III Congreso interamericano de Meteorología, Organización Mexicana de Meteorólogos, México, D. F., 89-93.
- MARTÍN VIDE, J. (1989): "Precipitaciones torrenciales en España". *Rev. de Geografía Noroeste*, Universidad de Extremadura, Cáceres, pp. 63-72.
- MIRÓ-GRANADA GELABERT, J. (1974): "Les crues catastrophiques sur la Méditerranée occidentale". *Flash Floods. Proceeding of the Paris Symposium*. September, 1974. IAHS Publ. núm. 112, pp. 119-132.
- MIRÓ-GRANADA GELABERT, J. (1983): "Consideraciones generales sobre la meteorología de las riadas en el Levante español". *Estudios Geográficos*, XLIV, núms. 170-171, Madrid, pp. 31-50.
- MOUNIER, M. M. y ALMOUB (1983): "Précipitations intenses dans les régions littorales méditerranéennes de l'Espagne". *La Météorologie*, núm. 34, Septembre, pp. 85-104.
- PÉREZ CUEVA, A. J. y ARMENGOT SERRANO, R. (1983): "El temporal de octubre de 1982 en el marco de las lluvias torrenciales en la cueva del bajo Júcar". *Cuadernos Geográficos*, pp. 32-33, Valencia.
- PONCET, J. (1975): "L'interêt du concept de cataclysme". *L'Espace Géographique*, núm. 1, París.
- QUEREDA SALA, J. (1984): "Perturbations atmosphériques et température marine en Méditerranée occidentale". *Rev. Méditerranée*, núm. 3, pp. 11-16.
- QUEREDA SALA, J. (1989): "Blocage et goutte froide sur le levant Espagnol". *La Météorologie*, n.º 27, avril, pp. 2-7.
- RADINOVIC, D. (1985): "On the development of orographic cyclones". Technical Report 50. ECMWF. Reading.
- RAMIS, C. y JANSÁ, A. (1983): "Condiciones meteorológicas simultáneas a la aparición de oscilaciones del nivel del mar de amplitud extraordinaria en el Mediterráneo Occidental". *Rev. de Geofísica*, 39, Madrid, pp. 35-42.
- RAMIS, C., JANSÁ, A. et AL. (1986): "Convección sobre el Mediterráneo Occidental: Estudio sinóptico y observación remota". *Rev. de Meteorología*, A. M. E., junio, pp. 59-82.

- RIVERA PÉREZ, A. y MARTÍNEZ LOPE, C. (1983): "Tratamiento digital de imágenes METEOSAT de alta resolución. Aplicación al caso de las inundaciones de Levante en octubre de 1982". *Rev. Meteorología*, diciembre, Madrid. pp. 67-80.
- RIVERA. A. (1985): "El servicio de Predicción del INM y los problemas mediterráneos. Experiencias y proyectos". *Steering Group meeting on Mediterranean cyclones project*. Palma de Mallorca. pp. 25-29, noviembre 1985.
- RIVERA. A. (1987): *Estudio preliminar de la dinámica troposférica en la situación de lluvias torrenciales mediterráneas del 19 al 21 de octubre de 1982*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid (en prensa).
- RIVERA. A. y JUEGA. J. (1986): "SIVIM: An integrated weather surveillance system for Spain. Preprints. Second International Conference on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology", Miami, Flida., *Amer. Meteor. Soc.*, pp. 34-35.
- RIVERA, A. y RIOSALIDO, R. (1986): "Mediterranean Convective Structures as viewed by METEOSAT imagery". Conference of METEOSAT scientific users. Amsterdam. Nov.
- ROSELLÓ VERGER, V., et Alt. (1983): *La riuda del Júcar (octubre 1982)*. Cuadernos de Geografía, núms. 32-33.
- SÁNCHEZ EGEA, J. (1968): "Situaciones de tiempo en la P. Ibérica". *Rev. de Aeronáutica y Astronómica*, núm. 327, febr., Madrid.
- SHAPIRO. M. A. (1982): "Mesoscale Weather Systems of the Central United States". CIRES-NOAA-University of Colorado, Boulder (Co).
- TOMÁS QUEVEDO, A. (1963): "Causas meteorológicas de las inundaciones de septiembre de 1962 en la baja Vallés. Llano de Llobregat y La Maresma". *Estudios Geográficos*, núm. 91. Madrid, pp. 137-146.
- TOMÁS QUEVEDO, A. (1972): "Las inundaciones de septiembre de 1971 sus causas". *Miscellanea Barcinonensia*, XXXII. Barcelona, pp. 125-141.