

CLASIFICACION DE PERIODOS LLUVIOSOS SEGUN LA FORMA DE SU TRAZA EN UNA BANDA DE PLUVIOGRAFO (ANALISIS CLAMOR)

por Luis Aldaz Isanta
Meteorólogo

RESUMEN

Presento una clasificación morfológica, que llamo análisis CLAMOR, de las trazas registradas en las bandas diarias de pluviógrafos correspondientes a periodos individualizados de lluvia.

Acepto como supuesto básico, y de esto el interés de esta clasificación, que dichas "formas" representan el efecto integrado de varios procesos físicos. Unos actúan sobre la microfísica de las nubes, o sea en la distribución inicial de los núcleos y otros sobre la distribución de tamaños de las gotitas y gotas en relación con mecanismos que, a diversas escalas, están presentes en la nube. En la mesoescala, a consecuencia de la evaporación, de la separación gravitatoria de las gotas debida a la cizalladura del viento, etc., y en la macroescala, como resultado del tipo de perturbación, del estadio en su evolución, etc. De una manera más breve cabe decir que se admite que si las formas de las trazas son diferentes, ello indica que también lo son los procesos de formación.

Del análisis de unas 1.200 bandas correspondientes a 35 estaciones en la cuenca del Duero (periodo enero a mayo) durante los años 1979, 1980 y 1981 obtuve una clasificación formada por tres tipos. El I, con formas convexas, el II, con formas lineales o complejas y el III, con formas cóncavas. Dichos tipos se subdividen en dos clases cada

uno y a su vez las clases en tres subclases.

Hago algunas consideraciones generales sobre la naturaleza de los procesos activos. También destaco la posible relación de la "forma" con el potencial de siembra que tenía la nube que produjo la precipitación. A continuación, hago conjeturas sobre cómo una siembra (S) sobre las nubes, cuya precipitación natural (NS) la determinan tres parámetros: duración, intensidad y frecuencia, alteraría la "forma" y por tanto las proporciones relativas de tipos CLAMOR. De una manera simbólica, cómo se difiere el espacio SDIF del NSDIF.

Como ejemplo práctico del uso de la clasificación CLAMOR escogí dos situaciones, una sencilla (20 de mayo de 1981) y otra compleja (9/10 de abril de 1981).

En el estudio de estas situaciones empleé los métodos usuales: análisis sinóptico, corte transversal, imágenes satelitarias y radáricas, junto con un análisis gráfico novel, de la cronología de los periodos lluviosos.

En el curso de realizar el análisis CLAMOR observé ciertas regularidades en las distribuciones de clases y subclases, lo que me permitió hacer distinciones entre los sistemas de lluvia estudiados, tanto con respecto a su potencial de siembra como a la estructura microfísica de los mismos.

I.- Conceptos básicos.

Resulta evidente por sí mismo el decir que las consecuencias que una actuación de siembra de nube pueda tener sobre la dinámica, la termodinámica y la microfísica de las mismas debe aparecer reflejada en cambios de la duración, la intensidad y la frecuencia (DIF), tomados independientemente o en conjunto, de los periodos lluviosos observados. Estos cambios, que pueden resultar tanto en incrementos como en reducciones de la precipitación, aparecerán al final como un número, esto es, el total de precipitación recogida. Este valor servirá de alguna manera para estimar el cambio que ha tenido la actuación realizada sobre la nube, o el grupo de nubes considerado.

En lo que sigue, y por razones de brevedad, hablaré del espacio NSDIF para referirme a la precipitación caída desde nubes sin sembrar (condiciones naturales) y al espacio SDIF para indicar la precipitación caída desde nubes en las cuales se han efectuado operaciones de siembra. En general, ambos espacios serán diferentes y lo que se desea en general es que $NSDIF < SDIF$.

En una nube, los procesos dinámicos, los termodinámicos y los microfísicos "puros" están conectados entre sí por bucles de retroalimentación (feedback) que hacen que el estudiar con rigor las consecuencias de una perturbación inducida en la nube, por ejemplo, siembra con un agente activo, ello sólo sea posible por medio de modelos. Por decirlo así, cerlo por medio de modelos. Por decirlo así, entre las muchas posibles, conduce al total de lluvia recogido en el suelo.

Valores integrados de la precipitación, desde totales por año o por estación hasta totales por minuto, o sea con una discriminación cronológica progresiva, han sido empleados en estudios estadísticos de regímenes pluviométricos.

En el caso de la precipitación se utilizan

también, además de los totales, otros tipos de variables derivadas como pueden ser la distribución en el espacio o en la cronología, medidas en la variabilidad, etc., tanto en la escala grande como en la mesoescala. La mayoría de las pruebas estadísticas utilizadas para evaluar programas de estimulación de la precipitación están basados en un análisis de los cambios observados entre los espacios NSDIF y SDIF referidos a la variable seleccionada.

Al otro extremo del abanico de metodologías para evaluar los efectos de una actuación sobre una nube o un sistema nuboso, están las pruebas físicas que van desde la observación de cambios en la microestructura de la nube hasta la observación de cambios en los aspectos macroscópicos como puede ser el espesor de la nube, su diámetro, etc.

Ambas metodologías tienen un rasgo común, y es que en las dos se establece, inicialmente, una condición de referencia (no perturbada) con respecto a la que se miden las desviaciones cuya significación se quiere probar. Si este estado de referencia pudiera, de alguna manera, ser predicho (y no hay nada que se pueda predecir mejor, como bien saben los estadísticos, que el azar) entonces el problema planteado de evaluar los efectos de la modificación estaría fácilmente resuelto. Desafortunadamente las nubes no se comportan aleatoriamente.

Con este trabajo pretendo introducir otra variable, o sea un nuevo marco de referencia, para evaluar las diferencias entre NSDIF y SDIF. Se trata de la "forma" con que aparece en la banda de un pluviógrafo de sifón un periodo individual de lluvia (definido como aquél con lluvia continua y de una duración variable, de unos pocos minutos a varias horas (según sea el caso), en la creencia de que dicha "forma" nos dice algo sobre el origen, evolución, condiciones ambientales y tal vez otras circunstancias que acompañan a la formación de la lluvia.

Está aún lejano el día en que se posean los conocimientos suficientes para "explicar", y más aún aquéllos en que se pueda "predecir", dicha "forma". El estudio de estas "formas", es razonable pensar, quizás pueda dar indicios adicionales a los conseguidos por otros métodos sobre la estructura del campo de precipitación.

Un primer paso a dar lo constituye el establecer un catálogo o clasificación de "formas" según aparecen en condiciones naturales. Estas variables conforman el marco de referencia buscado.

Con respecto a la modificación artificial del tiempo su significación es evidente si se acepta que la siembra cambia de alguna manera los procesos que determinan la microestructura de la nube. Es posible pensar que, tal vez, esa "alguna manera" aparezca reflejada en la forma del episodio lluvioso. Si esto es así sería de esperar que se produjera algún cambio en la proporción relativa de "formas" en el espacio SDIF, con respecto al NSDIF, después que se realice la siembra.

En caso de que se detectara esta diferencia, se dispondría de una prueba física de que la siembra ha producido cambios en la nube, por lo menos en cuanto a una característica de la precipitación medida en el suelo se refiere.

Los procesos que, en última instancia, conducen a la medida de un total de precipitación van introduciendo progresivamente una mayor indeterminación en la historia de su formación. Comienzan actuando sobre un conjunto de núcleos activos, le sigue la aparición de embriones de gotitas o cristales de nube, pasan por la formación de la distribución de tamaños (espectro) de gotas de lluvia y finalmente quedan representados en una banda de registrador o en la altura del nivel del agua en una probeta. Con una cámara de difusión contamos los núcleos de condensación o congelación; con un detector Knollenberg analizamos la distribución de las gotitas de nube; con un disdrómetro podemos deter-

minar el espectro de tamaños de las gotas de lluvia (tamaños que son el resultado de muchas vicisitudes individuales) y finalmente, con un pluviógrafo y un pluviómetro sabemos el cuánto y el cuándo de la precipitación, aunque tratándose de este último, la discriminación cronológica es la menor posible. Gotas, disdrómetros, pluviógrafos y pluviómetros, son mecanismos integradores.

Matemáticamente, la integración está asociada, bien con una constante (o constantes) o bien con una función (o funciones) indeterminadas que reflejan la ignorancia de las condiciones de contorno del proceso físico que describe.

Las consideraciones previas son aplicables al problema más importante con el que hay que enfrentarse para obtener conclusiones significativas en lo que respecta a una clasificación de las formas de los episodios de lluvia. En particular cabe preguntarse ¿hasta qué punto las formas que se observan en un pluviógrafo son el resultado de sumar (integrar) sucesivos espectros de gotas, homogéneos o razonablemente homogéneos?. Con otras palabras ¿serán los espectros (según se obtienen con un disdrómetro) cercanos en el tiempo, lo suficientemente parecidos (variación lenta) para que sea posible suponer que el mecanismo de formación de gotas de lluvia es uniforme en la cronología y en el espacio?. O por el contrario, ¿serán las formas que se observan, simplemente las envolventes de conjuntos de espectros de gotas de lluvia con distribuciones individuales aleatorias (variaciones rápidas)?.

En lo que sigue y esperando que no se demuestre lo contrario, aceptaré como hipótesis de trabajo, basada en datos conocidos de la microfísica de las nubes, que la primera pregunta puede ser contestada afirmativamente y la segunda negativamente, es decir, que los procesos son homogéneos en la escala en que son medidos.

No obstante, las alternativas anteriores

deben ser estudiadas experimentalmente teniendo presente que, en los disdrómetros y los pluviómetros, como con cualquier instrumento, existe una relación entre la representatividad y la resolución de que son capaces.

II.- Clasificación morfológica. (CLAMOR)

Esta clasificación resulta aplicable mejor al componente I del espacio DIF que a los otros dos restantes (D y F), ya que la pendiente de la "forma" representa la cantidad de lluvia (en mm) por unidad de tiempo (min) o sea la intensidad.

Con el propósito de caracterizar su "for-

ma", defino como periodo lluvioso a un intervalo de duración variable de lluvia continua separado de otro por un mínimo de 5 minutos sin lluvia registrada.

La base de datos utilizada para la clasificación la forman un conjunto de 1.200 bandas de pluviógrafo de 24 horas obtenidas durante las campañas del PIP de 1981 y de 1980. Los aparatos estaban distribuidos por toda la cuenca del Duero incluido las estribaciones de los macizos montañosos que la rodean. Abarcan desde enero a mayo, meses que corresponden al régimen de lluvias invernales y primaverales de la región. El número de pluviógrafos es de 35.

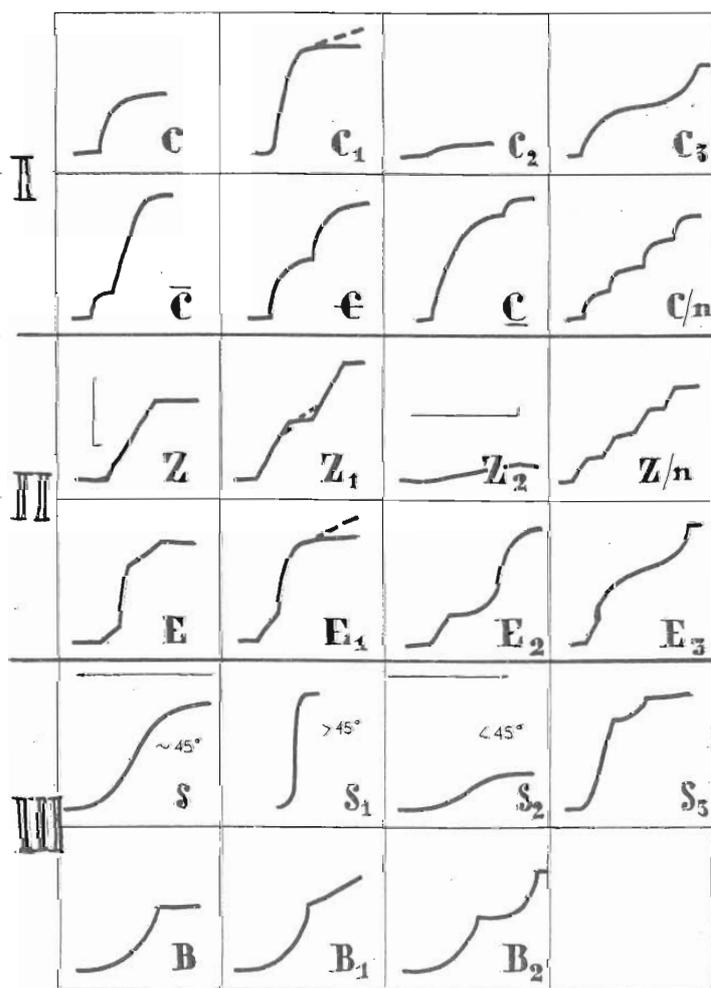


Fig. 1.- Clasificación "CLAMOR"

La figura 1 muestra la clasificación morfológica obtenida. Distinguiré tres tipos fundamentales:

- Tipo I.— Trazas convexas sencillas (o en forma de S invertida con un comienzo convexo).
- Tipo II.— Trazas lineales puras o mezcladas con curvas.
- Tipo III.— Trazas cóncavas.

A su vez estos tipos los subdividí en cinco clases C, Z, E, S y B cuyas configuraciones se asemejan (con fines nemotécnicos) a las de la "forma" de la traza. Las clases más características de los tipos son las C, Z y B mientras que las S y las E lo son menos.

La disparidad de tipos es lo suficientemente marcada como para sugerir que esté producida por procesos que difieren entre sí de una manera significativa.

Además de las 5 clases, la figura 1 aparece subdividida en 18 subclases cuya representación esquematizada hay que considerarla como ajustándose mejor a la forma de la traza que a las proporciones relativas de sus partes.

Como en la mayoría de las clasificaciones existirá un cierto grado de subjetividad al aplicar a periodos de lluvia particulares la clasificación propuesta para las trazas pluviográficas, en especial por subclases. A este respecto cabe decir que pruebas realizadas con dos analistas, trabajando independientemente y con el mismo conjunto de bandas, muestran

que las distribuciones obtenidas son muy similares.

No obstante hay que mencionar que en trazas largas asociadas con periodos de lluvia duraderos (muchas horas) se presentan casos de ambigüedad en su descomposición según segmentos con formas correspondientes a las subclases de la Figura 1. La caracterización firme de estas situaciones requiere estudios adicionales.

Si uno se imagina que las trazas de un pluviógrafo resultan de un ritmo en la acumulación de elementos individuales (gotas), se puede escribir simbólicamente

$$R(t) = \int_{t_1}^{t_2} r(t) dt$$

Donde R(t) es la función "acumulada" resultante y r(t) el ritmo desde el pasado hasta el presente, ($t_2 > t_1$).

La morfología general de los tipos básicos obtenidos se corresponde, de una manera puramente formal, con ciertas expresiones matemáticas. Las más sencillas son:

$$R_C(t) = 1 - e^{-t} \quad 0 \leq t \leq \infty$$

$$R_B(t) = at^2 \quad 0 \leq t \leq 1, a > 0$$

$$R_Z(t) = t \quad 0 \leq t \leq 1$$

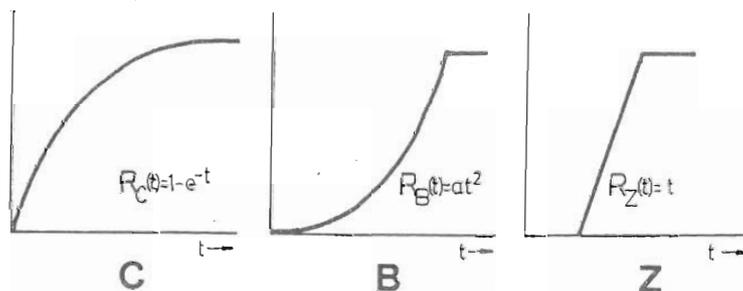


Fig. 2.- Funciones de "acumulación"

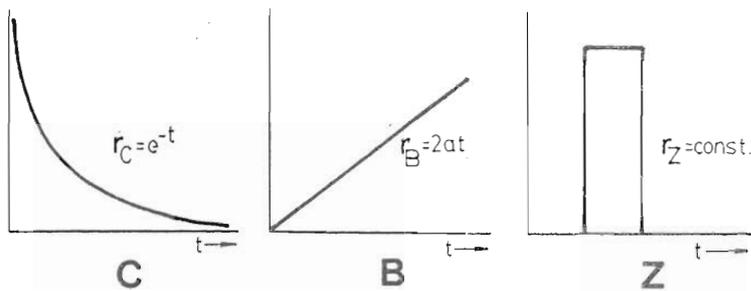


Fig. 3.- Funciones de "formación"

y su representación gráfica (fig. 2):

Recíprocamente, las derivadas de estas funciones de acumulación nos darán la "estructura" de los procesos de formación. Así tenemos:

$$\begin{aligned} r_C(t) &= e^{-t} \\ r_B(t) &= 2a \quad 0 < a < \infty \\ r_Z(t) &= K \text{ constante} \end{aligned}$$

Gráficamente estas funciones vienen representadas (fig. 3)

que, formalmente, representan en la cronología un proceso decreciente (r_C), uno estacionario (r_Z) y uno linealmente creciente (r_B).

Como complemento a este esquema formal, expondré a continuación un esquema físico. Para ello me basaré en los estudios realizados durante el PIP, los cuales indican que la precipitación en la cuenca del Duero tiene su origen en nubes frías. En este tipo de nubes existen procesos característicos que dan origen a la precipitación y que conviene recordar.

Una representación conceptual, esquemática y generalizada de los procesos activos predominantes en estas nubes y asociados a los periodos lluviosos, puede venir configurada de diversos modos. Uno de ellos es el mecanismo, más o menos eficiente, de crecimiento de cristales de hielo por deposición y posterior agregación entre ellos (copos de nieve) y captura de gotas subfundidas (granizo blando o "graupel") en una corriente ascen-

dente de intensidad variable, seguido de su fusión (gotas de lluvia) al pasar, en su caída, más allá de la isoterma de cero grados Celsius. Coalescencia, ruptura, evaporación y separación por el viento son los mecanismos que modifican la distribución de tamaños al nivel de la base de la nube. Llamaré a esta secuencia el modelo O.

Dependiendo fundamentalmente de la magnitud de la velocidad vertical presente en la nube y en menor grado de la disponibilidad de vapor de agua (función en general de la temperatura de la base de la nube), el crecimiento de los embriones iniciales, que ocurre de modo natural a niveles altos (temperaturas bajas), puede tener lugar en una banda estrecha de altitudes (zona de acumulación) hasta que al superar la velocidad de caída de las partículas la velocidad ascensional, se produce un desplome de la masa acuosa sólida o líquida y la formación, en ocasiones, por arrastre, de una corriente descendente (reventón). Llamaré a esta secuencia el modelo N.

En ambos casos el proceso agota las reservas de agua de la nube, la cual se torna "inactiva".

Existe otra alternativa, y es el caso en que se logre y se mantenga un equilibrio entre la cantidad de vapor de agua disponible, el número de cristales formados, su ritmo de crecimiento y la cantidad de agua sólida o líquida que sale del sistema (precipitación). Este es el caso de los ascensos formados por la orografía o por el desplazamiento de masas de aire cálido sobre masas de aire frío. (En casos así,

el episodio es de duración larga, con intensidades bajas a moderadas aunque moduladas, ocasionalmente, por una actividad más intensa en alguno de los bucles que alimentan el sistema). Llamaré a esta secuencia el modelo A.

Tanto el modelo O, como el N vienen asociados, previsiblemente, a lluvias más fuertes al inicio del periodo (llegada de gotas más grandes, por tanto descendiendo con más rapidez).

De paso sea dicho que los modelos O, N y A corresponden a una clasificación propuesta por el grupo canadiense de la Universidad de McGill al analizar los datos de las campañas del PIP y basada en el tipo de distribución de la reflectividad radárica con la altura. Si en el perfil aparece un máximo a niveles bajos se dice que es del tipo O (de "old": viejo); si ocurre a niveles altos se dice que es de tipo N (de "new": nuevo) y en situaciones intermedias se dice que es del tipo A (de "aloft": arriba) o del tipo E (de "edge": borde).

Las trazas incluídas en el Tipo I pudieran ser expresadas como el resultado de una función de formación cuya formulación analítica sería una función de acumulación de tendencia decreciente, mientras que físicamente pudiera pensarse que son producidas por una situación de baja energía convectiva, con poca cizalladura a niveles bajos y muy posiblemente mostrando una distribución de tamaños formada por numerosas gotas pequeñas presentes, hacia el final del periodo (nubes "viejas" y eficientes). En ocasiones esta "forma" se repite dentro de un periodo lluvioso varias veces en sucesión (pulsaciones), lo que implica el paso sobre el pluviógrafo de células con estructura similar. Se han clasificado en 4 subclases de acuerdo con la duración y número de las pulsaciones.

Aquellas trazas dentro de la tipo II de acumulación (clases Z y E) corresponden a una función de formación uniforme constante (onda cuadrada) que resulta en acumulaciones

linealmente crecientes y cuya interpretación física podría estar situada entre la del tipo I y la que se da a continuación para el tipo III.

La rectilinearidad de las trazas observadas en el tipo II no parece ser consecuencia de las características del instrumento (rozamiento de plumilla o cualquier otra) ya que como indican las subclases E_1 , E_2 y E_3 están mezclados los segmentos lineales y los curvados.

Una lenta acumulación inicial en las trazas puede atribuirse a la evaporación de las primeras gotas durante su caída o a una separación gravitatoria por tamaños ocasionada por el viento (a menor masa, menor inercia). La presencia de cizalladura en el viento puede afectar a esta separación. El final abrupto del periodo de lluvias y que aparece en muchos casos en las trazas, indica el paso de un chubasco con unos límites bien definidos que pueden ser una consecuencia más del viento sobre las gotas (eliminando las gotas pequeñas) unido al desplazamiento de la nube misma.

Por tanto, la trazas agrupadas dentro del tipo B, puede suponerse que están producidas por una concentración linealmente creciente, de agua por unidad de volumen, lo que sugiere la presencia de una actividad convectiva reciente en un ambiente con vientos relativamente fuertes.

Las subclases B_1 y B_2 son claramente variedades de la clase B, con una terminación diferente del periodo lluvioso.

La clase S y las subclases S_1 y S_2 comienzan como la B pero luego cambian de cóncavas a convexas, lo que pudiera interpretarse como siendo debido a las gotas cayendo a través de una atmósfera con cizalladura pero menos húmeda, lo que producirá una evaporación de las gotas fuera del núcleo del chubasco o periodo lluvioso. Se clasificaron de acuerdo con la intensidad de la lluvia (pendiente) en la parte central.

Dentro de este tipo de subclases, la S_3 tiene la "forma" más peculiar y fácil de reconocer. Inicialmente es del tipo S y termina en una del tipo B. Se presenta bastantes veces y debe, por tanto, reflejar una formación dentro de circunstancias bien definidas y repetitivas, pero que sobre las cuales no acierto a aventurar una hipótesis.

La caracterización física que se ha presentado de los tipos, clases y subclases de la clasificación CLAMOR es, desde luego, más descriptiva que explicativa y con certeza no es única. Para poner esta caracterización sobre una base más firme habría que estudiar, junto con las trazas de los periodos lluviosos, los espectros de las gotas de lluvia a intervalos muy cortos (minuto), y cuya suma debe coincidir con el total de precipitación medido; así como registrar simultáneamente parámetros representativos del ambiente, como son la altura de la base de la nube, el perfil vertical del viento, la humedad relativa del aire, las velocidades verticales, etc.

Naturalmente serían muy valiosas para entender la génesis de las "formas" aquí estudiadas, observaciones de la evolución que sufre un espectro de gotas en su caída desde que sale de la base de la nube hasta que llega al suelo con sensores Knollenberg a bordo de aviones.

Los numerosos estudios teóricos realizados, con respecto a los efectos de la cizalladura del viento, la evaporación, la coalescencia y otros procesos sobre las distribuciones de tamaños de las gotas de lluvia también podrán ayudar a entender las "formas" registradas.

Recientemente ha sido posible calcular por medio de modelos numéricos, que engloban en sus ecuaciones las variables más importantes, distribuciones del tamaño de gotas de lluvia (espectros tipo Marshall-Palmer).

III.— Consecuencias.

Aunque interesante y valioso en sí mismo no es, sin embargo, el propósito de este artículo analizar cuáles son el origen y los mecanismos que originan las "formas" observadas. Se parte de ellas como dadas (caso de que la clasificación conseguida sea adecuada) y se trata de ver primero, si la distribución geográfica de dichas trazas no es al azar; segundo, si hay continuidad de las "formas" en la cronología y tercero, si es posible detectar algún cambio como consecuencia de siembras sobre los sistemas de precipitación.

Analizaré primero el tercer punto brevemente pues su discusión, a falta de datos experimentales, ya que en el PIP no se realizaron operaciones de siembra, tiene que ser hipotética y por tanto, en este caso, breve.

El Proyecto PIP no pretendía actuar sobre las nubes dinámicamente (supersiembra para aumentar las fuerzas arquimedeanas) sino modificando la microfísica (haciendo uso de la diferencia entre la tensión del vapor del hielo y la del agua subfundida). Dentro de esta premisa el interés de la clasificación presentada se centra en poder utilizarla para observar cambios morfológicos en las trazas de precipitación entre nubes sembradas y no sembradas (espacios SDIF y NSDIF).

Si se adopta un esquema sencillo de interacción entre una nube y su ambiente, parece lógico pensar que de los tres componentes: duración (D), intensidad (I) y frecuencia (F) que afectan al total de precipitación caída en un lugar, sea este último el menos afectado por este tipo de siembra, pues el grado de heterogeneidad cronológica de un sistema lluvioso depende de su macroestructura.

Por otra parte, de los componentes (D) e (I) sí podría pensarse que resultarían alterados por la naturaleza misma de los efectos de la siembra, pero dado que existe una

relación estadística inversa, de tipo empírico, excepto en casos particulares (lluvias orográficas, por ejemplo), entre la duración (D) y la intensidad (I) de la precipitación es posible que el efecto neto de una modificación artificial (total en el suelo) sea (y es así como parece ser) muy reducido.

La consecuencia más directa de la introducción de núcleos glaciógenos, por ejemplo, hielo seco o yoduro de plata, en la nube, es el aumento de partículas de hielo con la consiguiente reducción en el tamaño en las gotas resultantes. Todo ello les hace más susceptibles a los procesos de evaporación y variación vertical del viento, pero menos a los de colisión, coalescencia y ruptura.

Por lo tanto, y aunque los totales recogidos sean aproximadamente iguales, es probable que pudiera ocurrir y apreciarse un cambio en las proporciones relativas, antes de la siembra y después de ella, entre los tipos I y III.

Se han excluido de estas consideraciones trazas de tipo II pues no parece que sea posible modificar las nubes que las producen, ya que se supone que son eficientes.

Se podría conseguir una base más firme para estas consideraciones, si se pudiera detectar por medio de observaciones que:

- a) La siembra produce los resultados más favorables en regiones donde predominan las clases S y B y las subclases S_1 , S_2 , B_1 y B_2 al resultar aumentado el valor del cociente: componente (D) dividido por componente (I) en los episodios que producen las trazas del tipo III.
- b) el potencial de siembra de un sistema de precipitación es aproximadamente proporcional al número (en porcentaje del total) de clases y de subclases S y B.

IV.— Aplicación del Análisis CLAMOR a dos periodos con precipitación en la cuenca del Duero.

Para demostrar los puntos tratados previamente en este trabajo he escogido dos situaciones, una que llamaré caso A, que tuvo lugar el día 20 de mayo de 1981 y otra que llamaré caso B, que ocurrió en los días 9 y 10 de abril del mismo año. Ambas situaciones tienen interés por haberse detectado, a través de medidas a bordo del avión Queen Air, que

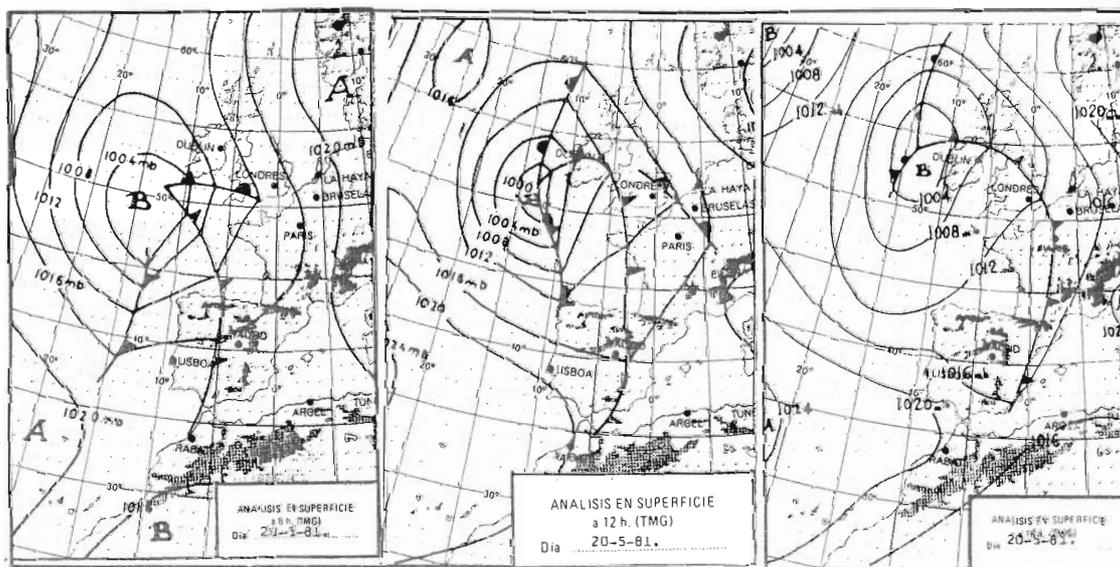


Fig. 4.- Mapas de superficie: (Boletín del I.N.M.)

en dichos días había regiones con índices elevados de potencial de siembra (índice may-B). Dichos periodos serán analizados utilizando las observaciones realizadas durante las operaciones del PIP e incluyen observaciones sinópticas de superficie y en altitud, imágenes radáricas y satelitarias, medidas con aeronave y registros pluviográficos. Se utilizan también los análisis del INM (topografías y superficie), así como el corte vertical preparado para el PIP. Se completa el conjunto de datos con un análisis de la precipitación horaria y con una aplicación de la clasificación CLAMOR.

Caso A.- 20 de mayo de 1981

Situación sinóptica: Superficie

Los mapas publicados por el INM (Boletín Meteorológico Diario) (fig. 4) la Península Ibérica aparece bajo la influencia de una circulación ciclónica. Durante el intervalo considerado, dichos análisis muestran un frente frío cruzando la cuenca del Duero en dirección este. Extrapolando hacia atrás el mapa de 0600Z, dicho frente debería estar situado a las 0000Z en el límite oeste de la cuenca. Está dibujado a las 0600Z sobre la parte central y a las 1200Z llega al borde

oriental de la cuenca.

Algo más tarde, el extremo sur de una oclusión pudiera haber afectado a las condiciones meteorológicas en la parte oeste de la cuenca del Duero.

Situación sinóptica: Altitud.

Según los mapas del Boletín Meteorológico Diario del INM (no se muestran), y en lo que respecta a España, la situación en altura en el día 19 de mayo de 1981 está caracterizada por la presencia, al oeste de la Península Ibérica, de una vaguada con un núcleo cerrado de isohipsas a todos los niveles. A 500 hPa este último está centrado en los 47°N 2°W. La figura 5, muestra la situación atmosférica el día 20 de mayo de 1981. El núcleo al que he hecho referencia, está localizado en los 50°N 20°W, a unos 700 km al noroeste de su posición 24 horas antes, y su valor central ha subido 60 m. En conjunto, su intensidad es débil y muestra un alto grado de barotropía.

Sobre la cuenca del Duero y durante todo el periodo de interés persisten los vientos del suroeste aunque disminuyendo su velocidad según transcurren las horas.

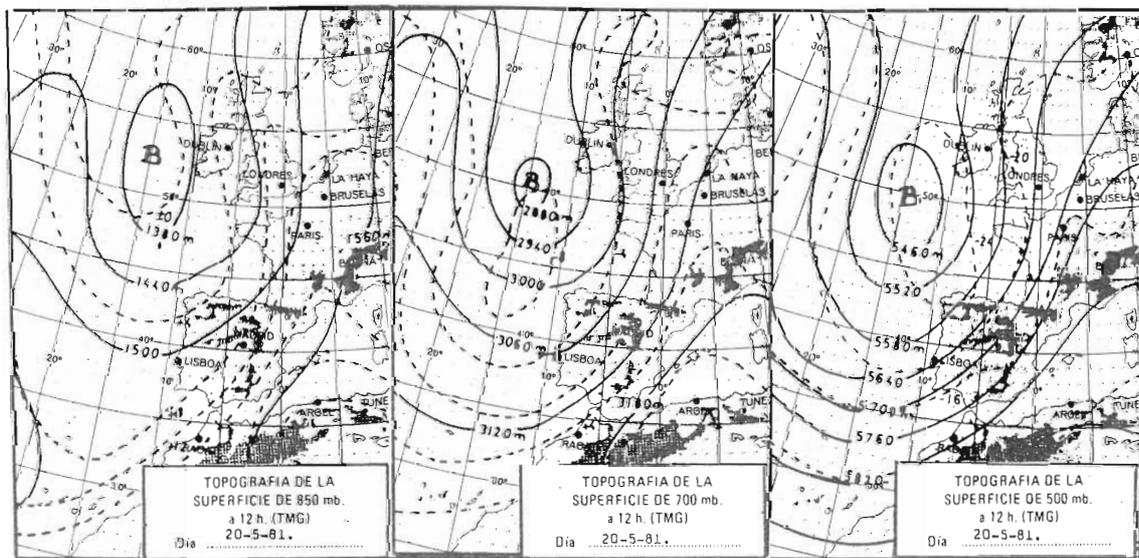


Fig. 5.- Topografías (Boletín del I.N.M.)

Sondeos aerológicos:

y 1100Z.

En las figuras 6 y 7 se presentan en un diagrama aerológico los sondeos realizados en Villanubla el 20 de mayo de 1981 a las 0700Z

Las diferencias de temperatura entre uno y otro son muy pequeñas, pero no así la distribución de la humedad con la altitud del

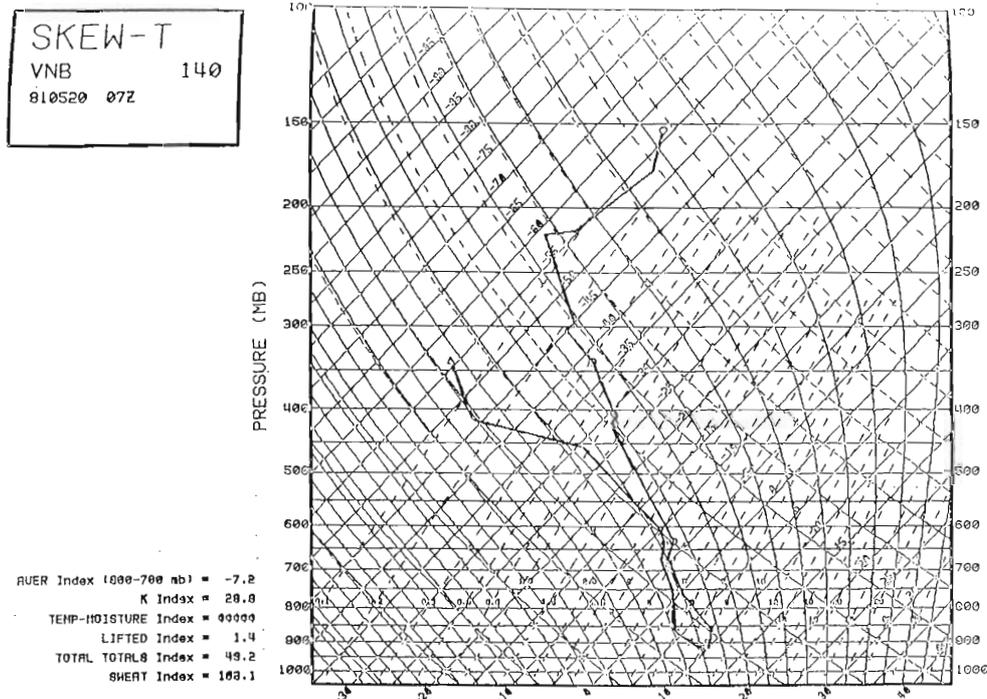


Fig. 6.- Sondeo aerológico en Villanubla de las 0700TMG

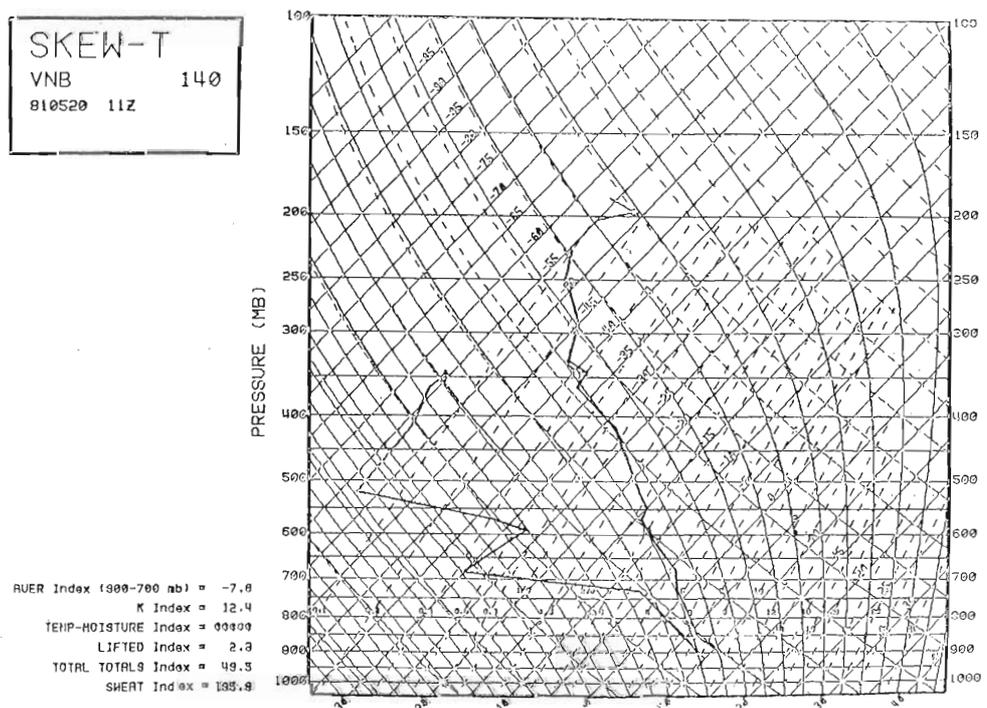


Fig. 7.- Sondeo aerológico en Villanubla de las 1100TMG

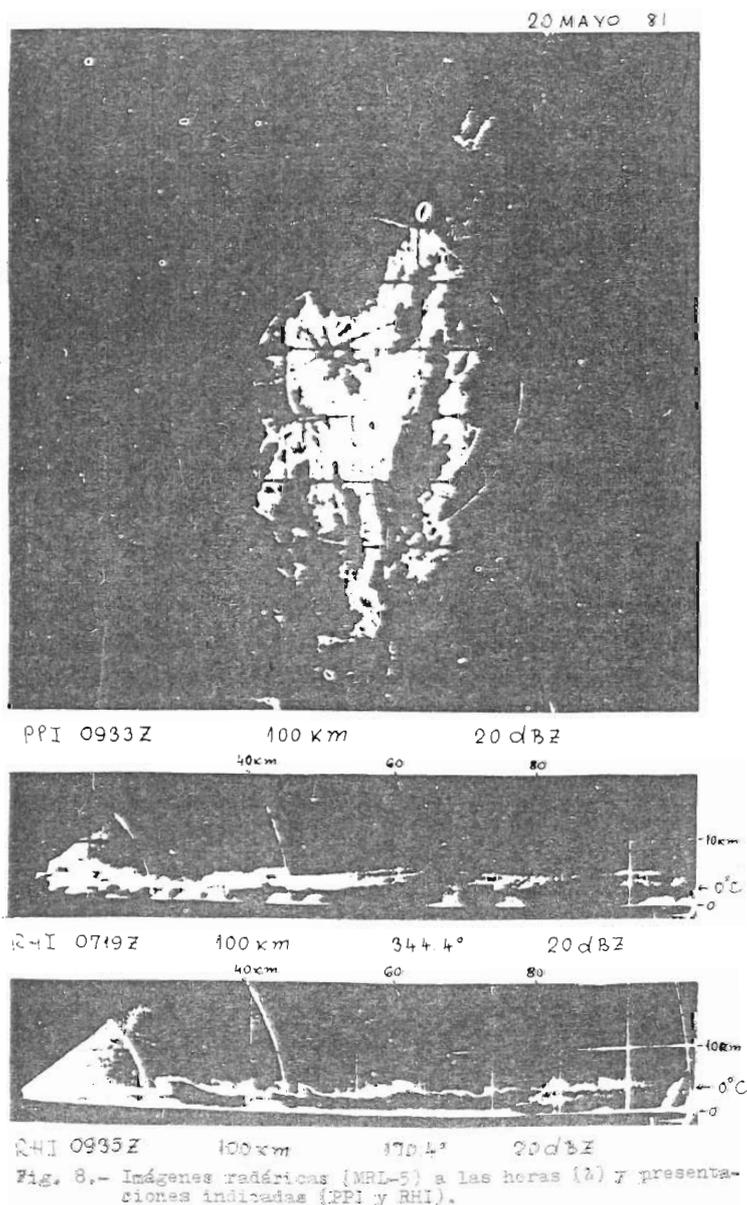
aire, que de estar saturado entre 850 hPa y 650 hPa a las 0700Z para a estar muy seco a las 1100Z, cambio que es posible atribuir a un efecto de subsidencia. La dirección del viento no cambia a ningún nivel (Fig. 12).

El sondeo de las 1100Z es más inestable que el de las 0700Z, lo que puede verificarse por inspección de los diagramas o comparando los valores calculados de los índices de inestabilidad que aparecen en la parte izquierda del diagrama. La evolución de la nubosidad (ver las imágenes radáricas y el corte transversal) confirma esta deducción.

De los sondeos se puede deducir que el paso de un frente frío, muy débil, debe haber ocurrido poco antes de las 0700Z, puesto que la inversión frontal se localiza a esta hora en los 750 hPa (301° K).

Imágenes radáricas:

Las imágenes aquí presentadas fueron obtenidas por el radar soviético MRL-5, que estaba situado en la cabecera de pista de la Base Aérea de Villanubla y operaba en una longitud de onda de 3 cm. La presentación,



tanto del tipo RHI (corte transversal azimutal) como del PPI (corte horizontal), utiliza la modalidad conocida como de "isocontorno", por la cual los ecos radáricos son analizados según su reflectividad. Aquellas partes del eco con valores superiores a un valor dado, en este caso 20 dBz, aparecen en negro en la imagen y aquellas con reflectividades inferiores a 20 dBz aparecen en blanco. Normalmente el núcleo de los ecos tiene reflectividades mayores, y por tanto, aparece como una región negra rodeada de una región, más o menos irregular, blanca.

La banda brillante cercana a la isoterma de cero grados centígrados es una región de fuerte reflectividad y por tanto aparece como una línea oscura en la presentación del RHI.

A las 0933Z y 1134Z las presentaciones del PPI (Figs. 8 y 9) del radar soviético MRL-5, muestran un sistema de ecos alineados en dirección SSW-NNE que se propaga hacia el ESE a unos 15 km/h. A las 1510Z (Fig. 10) aparecen ecos desorganizados y débiles. Más tarde, a las 1619Z (Fig. 11), pueden verse ecos más fuertes en el cuadrante NW de

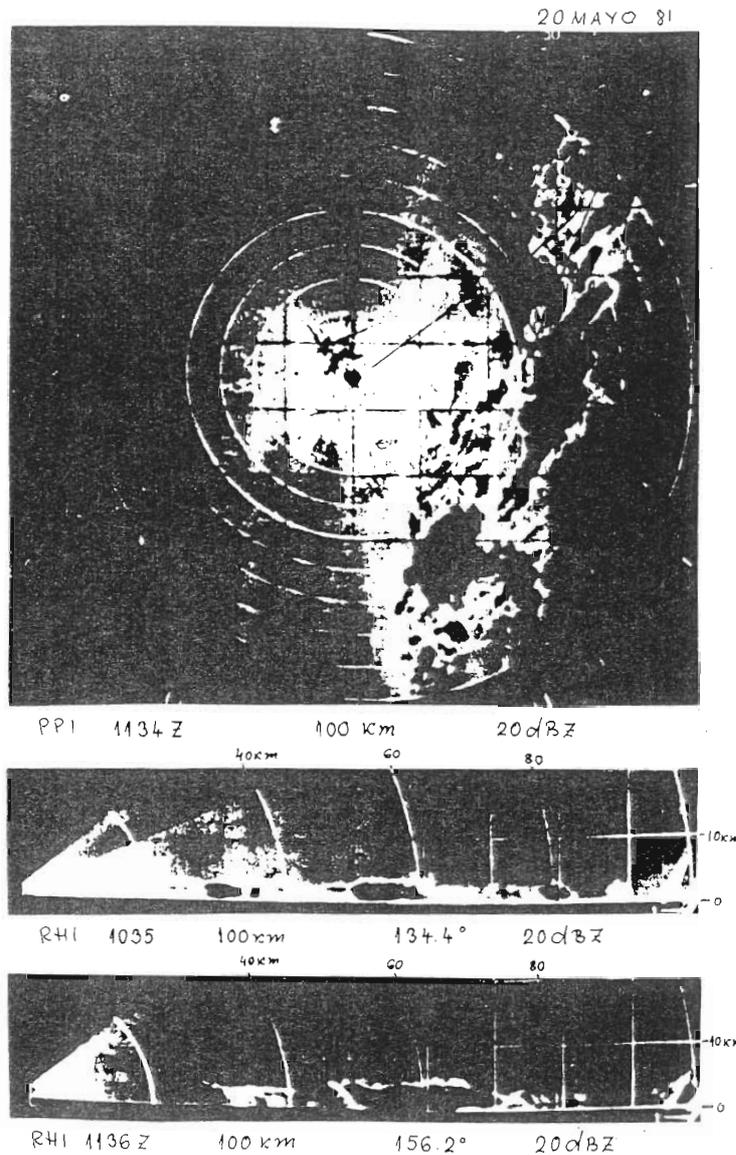


Fig. 9.- Imágenes radáricas (MRL-5) a las horas (Z) y presentaciones indicadas (PPI y RHI).

la región pero que, desgraciadamente, no se puede distinguir bien en la reproducción de la imagen radárica del PPI, aunque aparecen claramente en la del RHI.

Las presentaciones del RHI muestran (Figs 8 y 9) una banda brillante (isoterma de 0°C) bien definida, lo que indica una situación relativamente estable (Ns). A partir de las 1200Z la situación atmosférica claramente se inestabiliza y aparece un régimen convectivo desorganizado. Esta observación concuerda con lo que es de esperar después del paso de un frente frío, al que sigue un pro-

ceso de subsidencia. Esta condición produce una masa de aire seco a niveles altos, que sólo los impulsos más fuertes pueden penetrar. En la figura 11 (1623Z, azimut 318°05) se observa una fuerte célula convectiva (tormenta) que alcanza los 7 km de altitud. Al cesar el calentamiento diurno la actividad convectiva disminuirá rápidamente, lo que aparece confirmado, más tarde, por las observaciones en superficie (Fig. 12).

Imágenes satelitarias

No se dispone de ninguna.

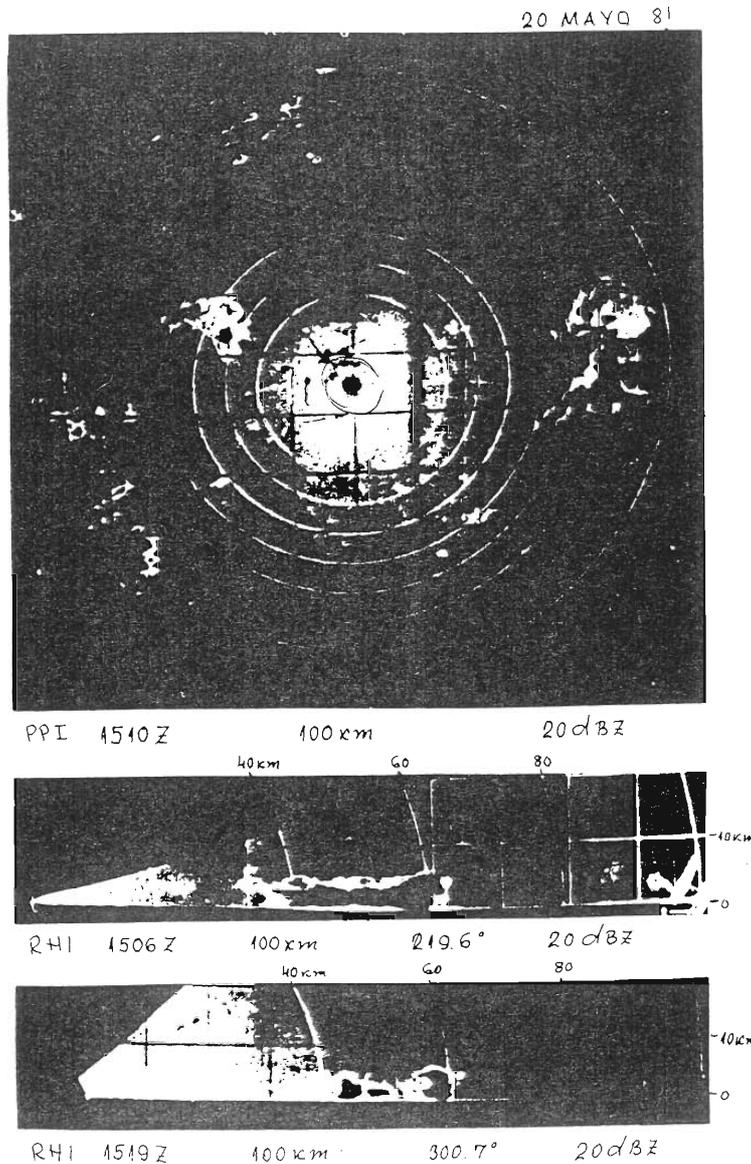


Fig. 10.- Imágenes radáricas (MRI-5) a las horas (Z) y presentaciones indicadas (PPI y RHI).

Clasificación PIP de los tipos de nubes

Para los fines del PIP (estimación del potencial de siembra) se necesitaba caracterizar los diversos tipos de nubosidad en la cuenca del Duero (estratificar) de la manera más sencilla posible. Las situaciones (valores medios cada 6 horas) se clasificaron así:

AW Situaciones con precipitación generalizada. Ns, con nubes medias, estratificadas. Las temperaturas de las cimas de los ecos radáricos más cálidas de -18°C .

- AC Lo mismo que AW pero con las temperaturas de las cimas de los ecos radáricos por más frías de -18°C .
- B St, As, Cu hum., Sc y Ac.
- C Cu cong., Cu med.
- D Cb calvus.

Brevemente se puede decir que las nubes tipo "AW", "AC" son profundas y no convectivas (pueden haber células convectivas intercaladas), las del tipo "B" son de poco espesor e, inferior a las del tipo "C", mientras que las "D" son profundas pero aisladas.

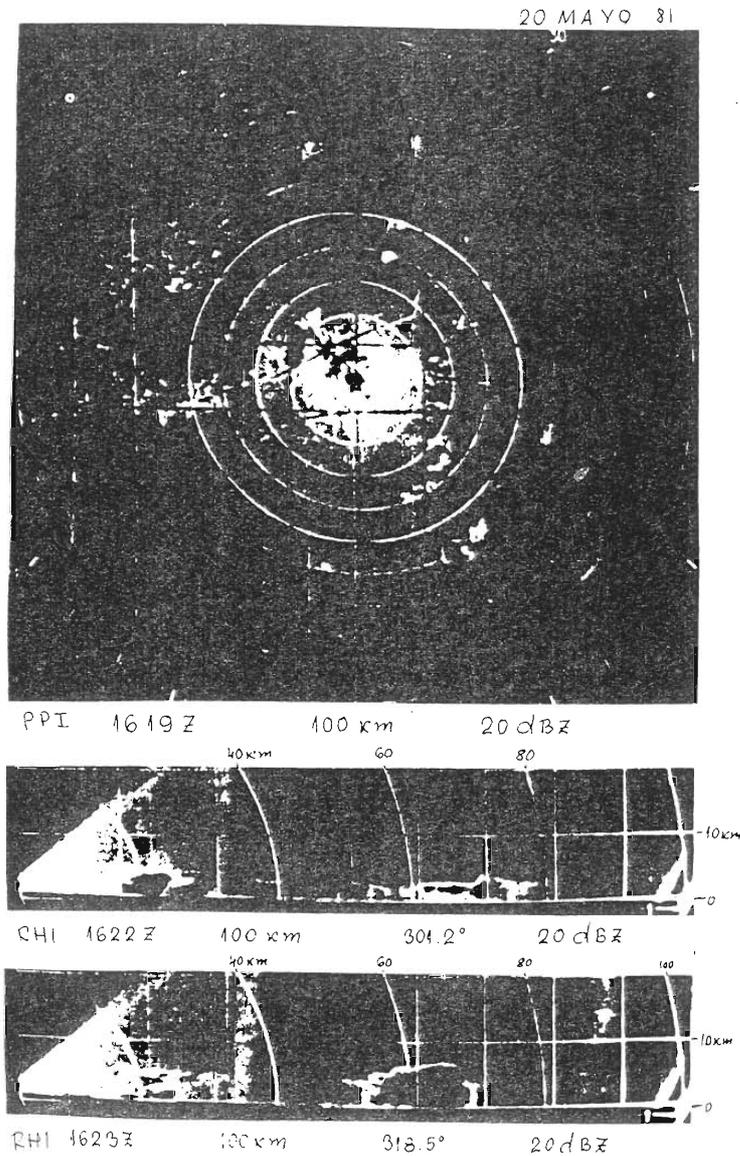


Fig. 11.- Imágenes radáricas (MRL-5) a las horas (Z) y presentaciones indicadas (PPI y RHI).

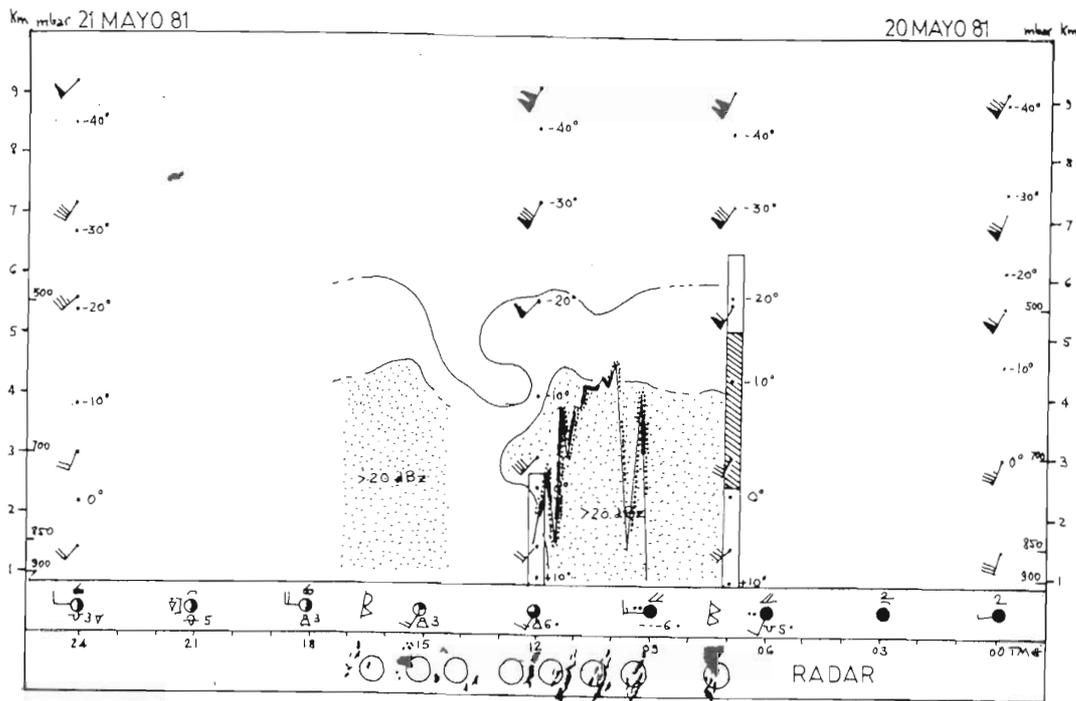


Fig. 12.- Corte transversal de la atmósfera sobre Villanubla (20 de mayo de 1981). Ver el texto para la explicación de los símbolos usados.

Para el día 20 de abril, la situación quedó clasificada así:

Hora (Z)	00/06	06/12	12/18	18/24
Tipos	AC	AC	C	B

Corte transversal.

El corte transversal (Fig. 12), preparado por personal del PIP, en el laboratorio sinóptico del proyecto en Villanubla, concuerda y confirma lo dicho previamente.

En dicho diagrama se esquematizan las condiciones meteorológicas en un área de 50 km de radio con el centro en Villanubla.

En este diagrama el eje de ordenadas es la altura, tanto en kilómetros como en milibares, mientras que el de abscisas, es la hora TMG, creciente de derecha a izquierda. En la figura se resumen los siguientes tipos de información:

a) Radiosonda: temperatura, dirección y velocidad del viento, con los símbolos usuales. Las barras indican humedades superiores al 50 por ciento con respecto a agua líquida y en su parte rayada saturación con respecto al hielo. Los datos a las 0000Z y 2200Z son sintéticos, esto es, deducidos de las topografías sinópticas a las horas correspondientes.

b) Radar: Con una línea fina se indica la altura promedio, y la estructura (hora a hora), de los ecos radáricos (presentación del RHI) observados. Regiones con reflectividades superiores a 20 dBz aparecen sombreadas.

En la parte inferior del diseño aparecen dibujados esquemáticamente (sólo a ciertas horas) la forma y distribución horizontal de los ecos radáricos dentro de un círculo de 50 km de radio.

c) Avión: el perfil del vuelo (altura-cronología) aparece como una línea fina en zig-

zag. Sobre ellas segmentos más gruesos indican concentraciones de gotas, medidas con el sensor Knollenberg ASSP, superiores a 10 gotas por centímetro cúbico. Una línea punteada, paralela al perfil de vuelo, indica aquellas partes de la nube con concentraciones de cristales de hielo, medidos con el sensor Knollenberg 2D, superiores a 0.1 por centímetro cúbico.

Conviene recordar que el avión Queen-Air de la Universidad de Wyoming, generalmente vuela más allá de la región de 50 km de radio alrededor de Villanubla, por tanto la estructura indicada de las nubes observadas puede ser muy diferente de la que pudiera deducirse de las observaciones radáricas (representativas de un círculo de 50 km de radio), que aparecen en la figura.

- d) Observaciones de superficie: corresponden a las horas tipo y para su representación se utilizan los símbolos usuales.

En la figura 12 puede verse que los vientos a todos los niveles son del SW aumentando su velocidad con la altura y alcanzando los 100 nudos a los 9 km. La línea de isocero desciende regularmente desde los 3 km a las 0000Z a los 2 km a las 2400Z, lo que es de esperar con la llegada de una masa de aire más frío al lugar de observación.

Las observaciones trihorarias de superficie en Villanubla pueden interpretarse como reflejando el paso de un frente, entre las 0300Z y los 0900Z. Más tarde, entre las 1500Z y las 1800Z, un cambio en la dirección del viento puede indicar la presencia de otra perturbación, tal vez una oclusión débil, que no produjo precipitación en Villanubla.

Análisis cronológico de los periodos lluviosos

Para el día 20 de mayo de 1981 estimé, con la máxima precisión permitida por la banda diaria de los pluviógrafos usados (± 05 min) la duración de todos los periodos lluviosos re-

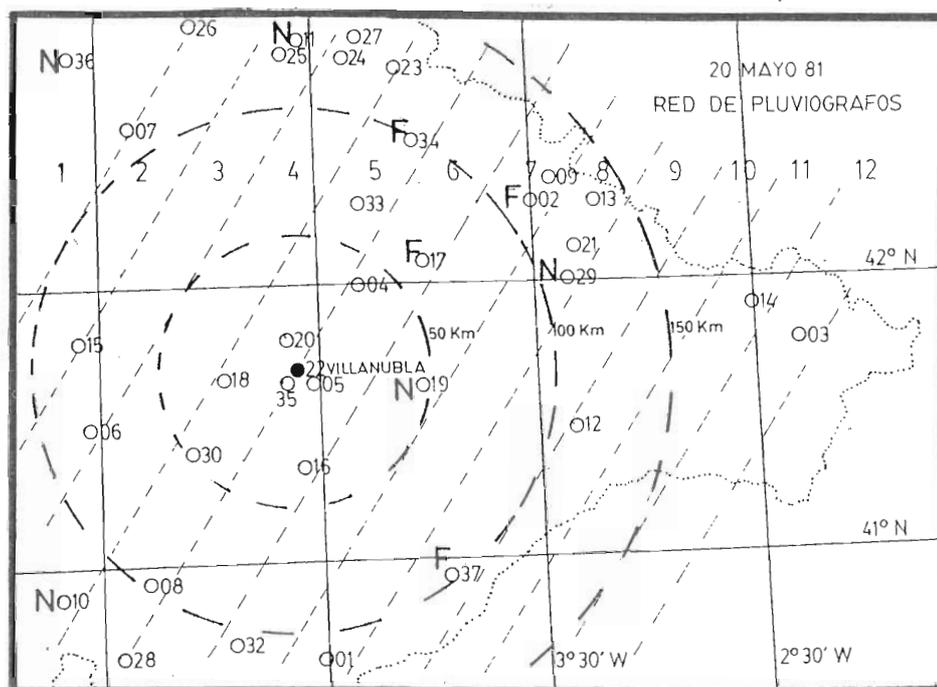


Fig. 13.- Red de pluviógrafos y división de la cuenca del Duero en franjas para el caso A. Ver el texto para la explicación de los símbolos usados.

gistrados en todas las bandas de pluviógrafo disponibles. Al mismo tiempo clasifiqué sus trazas de acuerdo con los tipos de análisis CLAMOR.

El conjunto básico de datos de precipitación, que recibirá una interpretación en lo que sigue, lo presento de dos maneras diferentes. En la primera, la cuenca del Duero fue subdividida en franjas de 25 km de ancho orientadas de un modo proximado, perpendicularmente a la trayectoria (determinada por radar) del sistema de precipitación principal estudiado (Fig. 13). La primera de las franjas coincide con el borde occidental de la cuenca y la última con el extremo oriental y están numeradas del 1 al 12. Las distancias vienen indicadas por medio de círculos concéntricos con Villanubla en el centro. La línea de puntos señala los límites de la cuenca del Duero. Meridianos y paralelos completan la figura.

Los pluviógrafos están numerados desde el 01 hasta el 37 (los 18 y 31 han sido omitidos). La letra N indica que no hay datos y la F que hubo fallos.

A continuación dibujé el diagrama de la figura 14 o "diagrama de franjas" (DF). Los pluviógrafos incluidos en cada franja aparecen con sus números en el eje de abscisas. Estos grupos aparecen separados entre sí por líneas finas verticales y cada uno lleva su número de orden correspondiente según la figura 13.

Dentro de cada franja los pluviógrafos aparecen ordenados de izquierda a derecha, según su posición dentro de ésta. Así (N) indican en la parte norte, (S) en la sur, (C) en la central. En el renglón siguiente aparecen las distancias entre los pluviógrafos extremos. En el eje de coordenadas se indican las horas TMG.

En esta figura la duración de la precipitación (que fue de lluvia en todos los observatorios) está representada por un trazo vertical, más o menos largo, que une la hora de comienzo con la de terminación en cada periodo individual. Al lado de cada periodo están los símbolos de la clasificación CLAMOR, descrita en la primera parte de este trabajo.

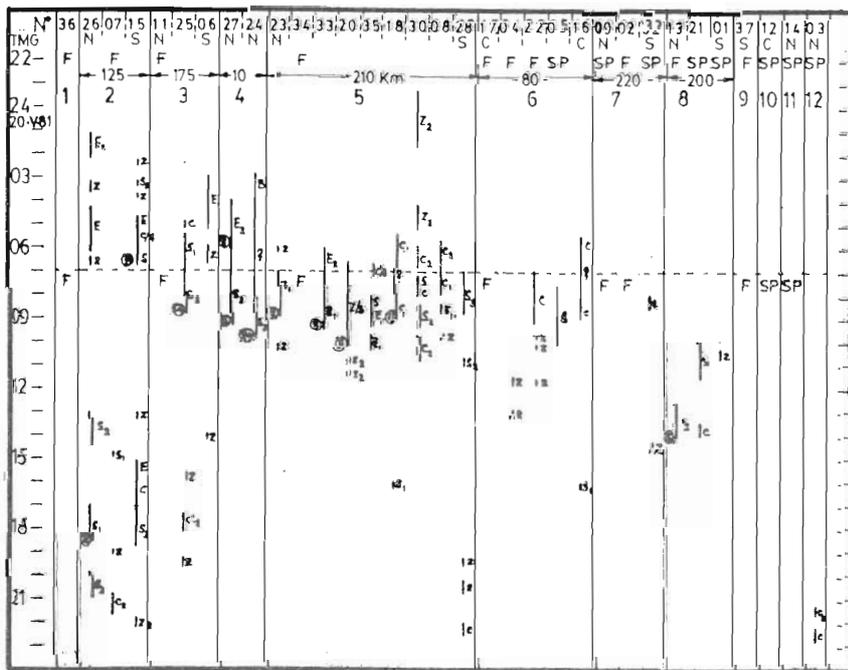


Fig. 14.- Diagrama de franjas (DF). Ver el texto para la explicación de los símbolos usados.

Como símbolos adicionales se han incluido la interrogación (?) para indicar dudas en la clasificación (caso de periodos largos), (F) para indicar que no se dispuso de la banda correspondiente (falla) y (SP) para indicar que la banda no señalaba precipitación, bien porque no la hubo o bien por fallo del instrumento.

A aquellos periodos con totales de precipitación superiores a los 5 mm les añadí dicho total al extremo inferior del segmento que indica la duración del periodo individual correspondiente.

La línea horizontal de trazas indica la separación entre sucesivas bandas de pluviógrafo.

Para realizar la segunda manera de analizar los pluviógrafos los agrupo según cinco alineaciones, que aparecen en la figura 15 indicadas con líneas de trazo grueso e identificados por letras, la más occidental por "A" y la más oriental por "E". La N indica aquellas estaciones de las que no se tienen datos.

La dirección general de estas líneas es paralela a la del movimiento del sistema lluvioso, determinado por radar.

El resto de líneas, números y letras tienen el mismo significado que los de la figura correlativa 13.

La figura 16 es el "diagrama de líneas" (DL), donde las alineaciones de pluviógrafos aparecen en el eje de abscisas. Cada grupo aparece separado del siguiente por líneas verticales finas identificado por la letra correspondiente. Las restantes líneas, números y letras usadas, tienen el mismo significado que los de la figura correlativa 14. La interpretación de las figuras 14 y 16 no es inmediata. Para ayudar al lector a visualizar el movimiento y estructura del sistema de precipitación he dibujado la figura 17 donde se esquematiza una situación idealizada. En ella aparece una red de pluviógrafos alineados, según líneas rectas en posiciones igualmente espaciadas. Las correspondientes agrupaciones en franjas (1 a 5) y líneas (A a E) también aparecen indicadas, respectivamente, en las fi-

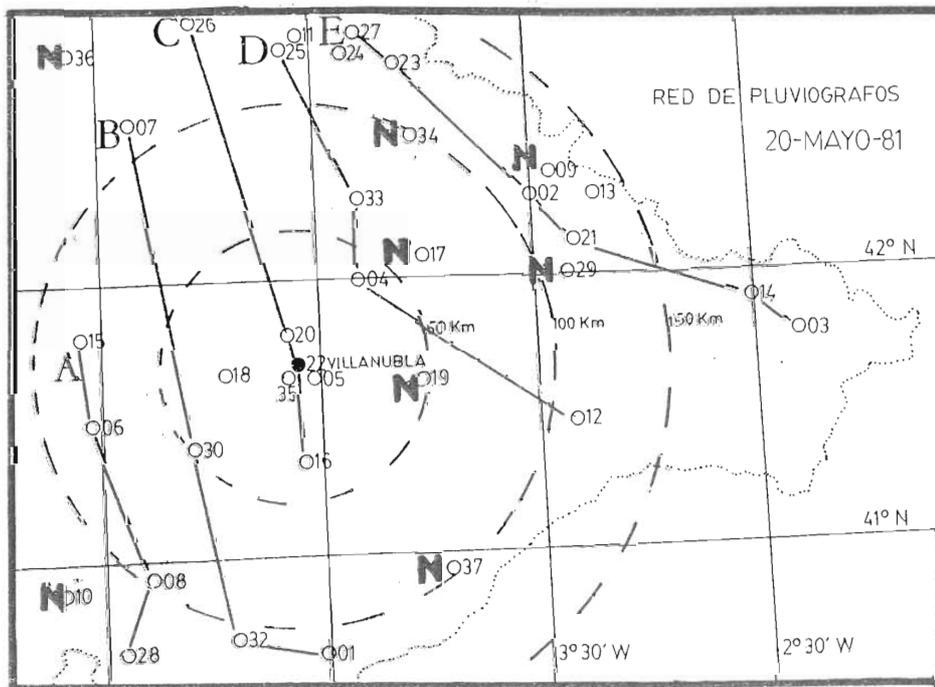


Fig. 15.- Red de pluviógrafos y alineaciones seleccionadas. Ver el texto para la explicación de los símbolos usados.

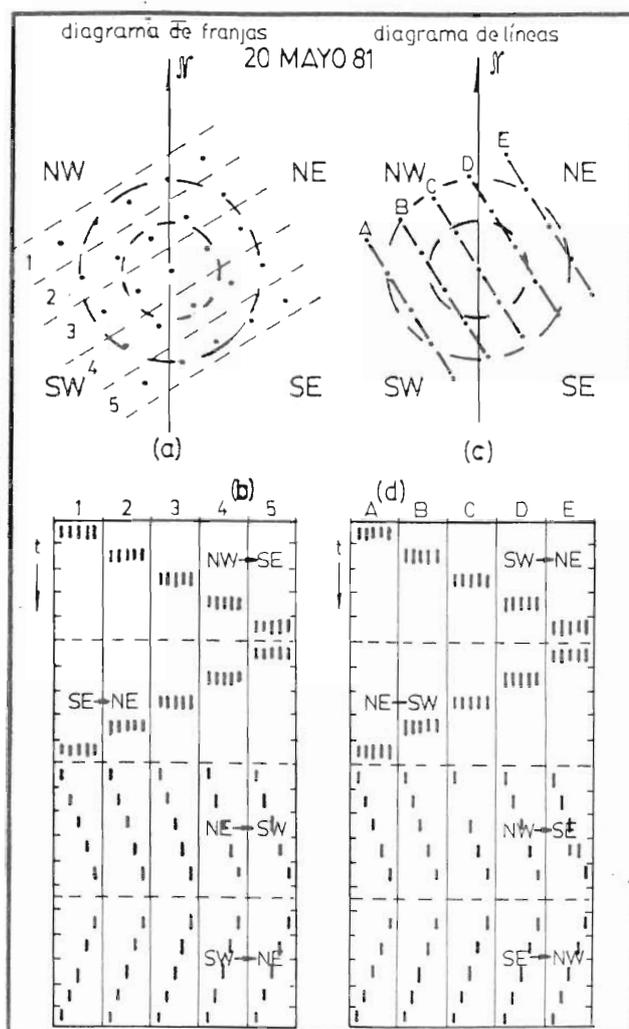


Fig. 17.- Representación esquemática de situaciones idealizadas para los diagramas (DL) y (DF).

(franjas o líneas) las comparaciones más informativas son en el caso del DF las que se hacen *entre* las franjas (letras) y en el caso del DL las que se hacen *dentro* de las franjas (números).

Con estas reflexiones a la vista, volvamos a las figuras 14 y 16. Naturalmente, el contenido informativo de ambos diagramas es el mismo, pero cada uno lo presenta de un modo diferente.

El diagrama de franjas (DF) muestra la presencia de un sistema de lluvias principal, que cruza el valle del Duero en dirección SE sin afectar a los pluviómetros al sur del paralelo 41°N.

Este sistema se desplaza a una velocidad de 13 km/h, muy constante, (compárense las horas de llegada a los pluviómetros 26, 23, 13 y 03). Tiene su máxima intensidad en las montañas septentrionales y en la parte central de la cuenca (pluviómetros 20 y 18).

Si se consideran las horas de comienzo de la precipitación en los pluviómetros 15, 06 30 y 16 se nota su adelanto con respecto a los pluviómetros situados en la parte sur de sus franjas respectivas. Esta ocurrencia puede explicarse si suponemos que se ha producido un avance más rápido (40 km/h) del sistema de precipitación (propagación) a lo largo de dichas estaciones.

Si a este fenómeno le sumamos observaciones adicionales, tales como las "pulsaciones" que se detectan en la precipitación, lo rápido del avance y la dirección del mismo, casi perpendicular al viento dominante, todo ello hace suponer la presencia de una perturbación del tipo onda a sotavento que modula la formación de la precipitación. Tendría interés el estudiar si este fenómeno ocurre más veces.

Los pluviógrafos 26 y 27, en zonas montañosas, también muestran cierto adelanto en la hora de comienzo del periodo lluvioso, adelanto que tal vez pudiera responder asimismo a la influencia de fenómenos ondulatorios.

El segundo periodo de lluvias, prácticamente aparece y se disipa "in situ" a lo largo de la franja 2 y en el extremo norte de la 3 y en el extremo sur de las franjas 3 y 5.

El paso de una perturbación sinóptica (frente frío) bien definida y de otra (oclusión?) en vías de disolución, aunque reforzada, esta última, por efectos orográficos y de calentamiento, podrían explicar las secuencias y la evolución de los periodos de precipitación registrados en los pluviógrafos.

El "diagrama de líneas" muestra claramente el temprano comienzo de la precipitación en el pluviógrafo 30. La secuencia en periodos en la franja A puede ser interpretada (Fig. 17 (d)) como ocasionada por un sistema de lluvias que se propaga desde el NW hacia el SE a una velocidad de 14 km/h con una anchura promedio de unos 40 km. De las secuencias en las franjas D y E se calculan velocidades de 20 km/h y 12 km/h respectivamente.

El segundo periodo de lluvias aparece indicado en este diagrama menos claramente que

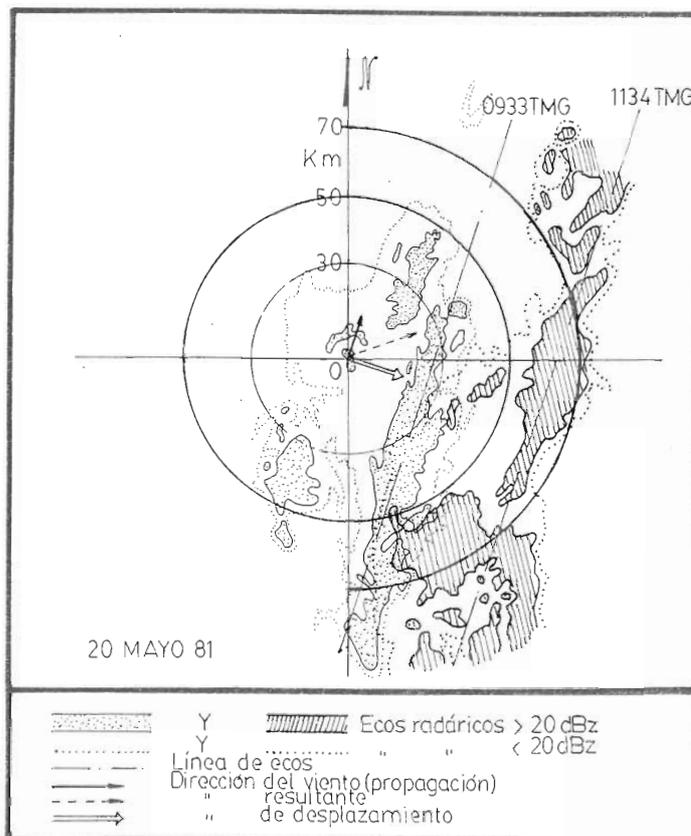


Fig. 18.- Ejemplo (imágenes radáricas) de movimiento de ecos, resultante de una propagación a lo largo del viento y del desplazamiento del sistema de lluvias.

en el de franjas, pues para detectarlo, hay que comparar distribuciones en grupos separados. Hay que considerar las secuencias en los pluviógrafos 26, 15, 25 y 07, además de la del 28, para obtener la agrupación de estaciones que aparece nítidamente en la esquina izquierda de la figura 14.

Como es de esperar, debido a que sus ejes son perpendiculares entre sí, ambos diagramas se complementan.

Una comparación entre la velocidad y dirección del primer periodo de lluvias deducidas del análisis cronológico (del NW a 12/15 km/h) y la de los vientos observados (Fig. 12) en altitud en Villanubla durante el 20 de mayo de 1981 (que son del SW, con velocidades inferiores a los 20 km/h) pone de manifiesto una diferencia interesante.

Para explicar esta diferencia puede pensarse que la perturbación no se desplaza empujada por el viento (advección pura) sino que se produce una combinación de desplazamiento y propagación (formación de nuevos núcleos activos).

Las imágenes radáricas (Figs. 8 y 9) indican que esto es así. La línea de ecos (Fig. 18) se desplaza desde el NW al SE (flecha doble) de acuerdo con el análisis cronológico, mientras que los núcleos de precipitación se propagan (flecha sencilla) desde SW al NE de acuerdo con el viento.

Análisis CLAMOR

Con respecto a los resultados de aplicar el análisis CLAMOR a los dos periodos lluviosos (Figs. 14 y 16) cabe decir que se observan ciertas regularidades:

- 1.— La subclase S₃ aparece con más frecuencia en las trazas de los pluviógrafos en regiones montañosas, tanto del norte como del sur.
- 2.— La clase E también ocurre en las montañas, bien en solitario, bien al inicio de

periodos aislados.

- 3.— La clase C y subclases aparecen con más frecuencia en el valle.
- 4.— El sistema lluvioso mantiene de modo aproximado su estructura longitudinal y transversal durante su movimiento de hacia el NE. En el extremo septentrional, la lluvia comienza con periodos de clase E y termina con periodos de la clase Z.
- 5.— En el valle comienza con clases C o S y termina también con clase Z. El sistema no llega más allá del paralelo 41°.
- 6.— En el segundo periodo (oclusión?) sólo aparecen las clases S, C y Z excepto en el extremo norte (pluviógrafo 21) que muestra una E.

Con una muestra tan reducida como ésta, los resultados anteriores de la clasificación CLAMOR aplicables a un posible frente frío, de débil a moderado, en intensidad deben esperar confirmación antes de ser generalizados.

Caso B.- 9 y 10 de abril de 1981

De los mapas publicados por el INM para los días 9 y 10 de abril de 1981 se deduce para el periodo 090000Z al 102400Z la siguiente:

Situación sinóptica: Superficie

En el mapa de superficie de las 1800Z del 8 de abril (no se muestra) aparece un frente cálido que se alarga desde la isla de Gomera hasta Barcelona, pasando por el Cabo de San Vicente en Portugal. Está asociado con una región de presión baja centrada al noroeste de las islas Canarias (32°N 22°W).

En la figura 19 (a), correspondiente a las 0600Z del 9 de abril puede verse que sobre la región de la cuenca del Duero, dicho frente cálido ha desaparecido, posiblemente bajo una influencia frontolítica (causada por subsidencia) de un anticiclón situado sobre la Europa

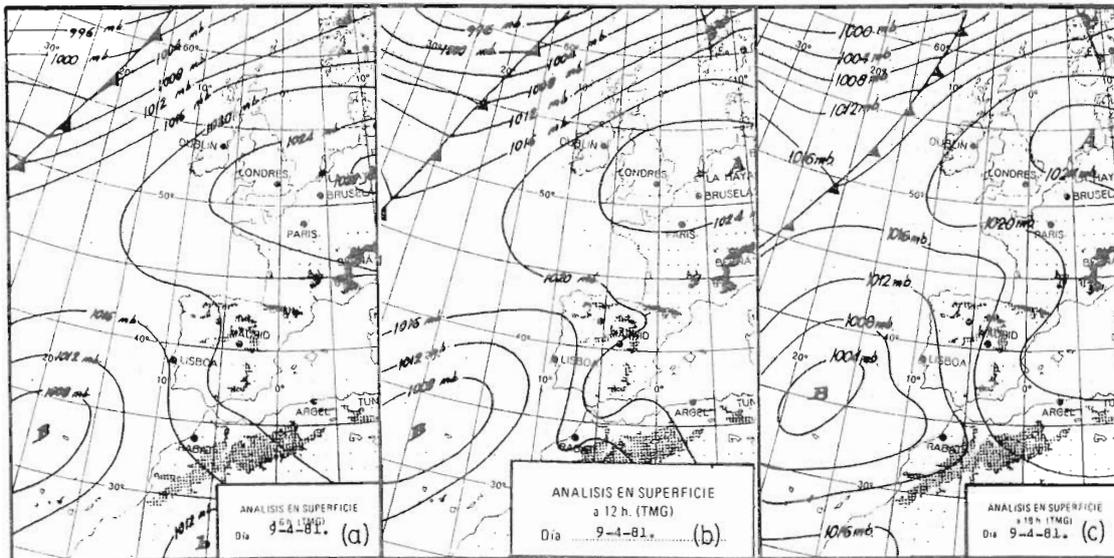


Fig. 19.- Mapas sinópticos de superficie (Boletín del I.N.M.) para el 9 de abril de 1981.

Central. Durante las 12 horas siguientes, hasta las 1800Z, la Península Ibérica está entre el anticiclón de Europa Central y la depresión barotrópica de tipo subtropical (sin frentes) mencionada antes y que durante el periodo se ha ido moviendo (40 km/h) hacia el NNE alcanzando los 35°N 18°W hacia el final del periodo. El viento predominante sobre la Península Ibérica es de componente sur. A partir de esta hora (Fig. 20) el centro de la baja acelera su velocidad de desplazamiento (60 km/h en promedio) pero continúa moviéndose en la misma dirección llegando a

los 44° 12'W al final de las 24 horas siguientes (101800Z), sufriendo una deceleración rápida.

A lo largo de este periodo y progresivamente se establece en la superficie, sobre la Península Ibérica en general, y sobre la cuenca del Duero en particular, un régimen ciclónico de vientos de componente SW.

Durante su movimiento, el centro ciclónico se torna tanto más baroclino según va llegando a latitudes más septentrionales. A las

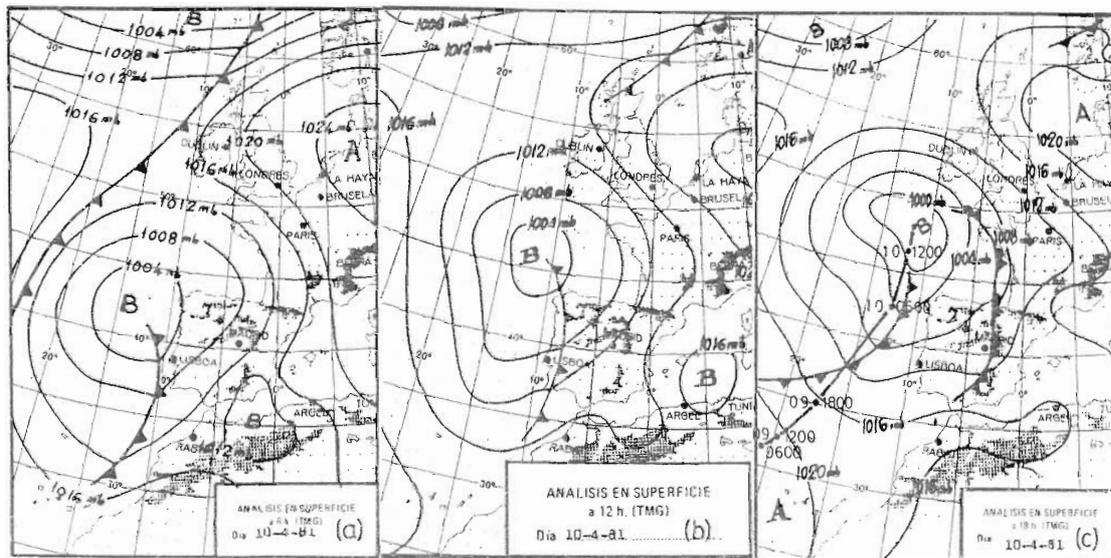


Fig. 20.- Mapas sinópticos de superficie (Boletín del I.N.M.) para el 10 de abril de 1981.

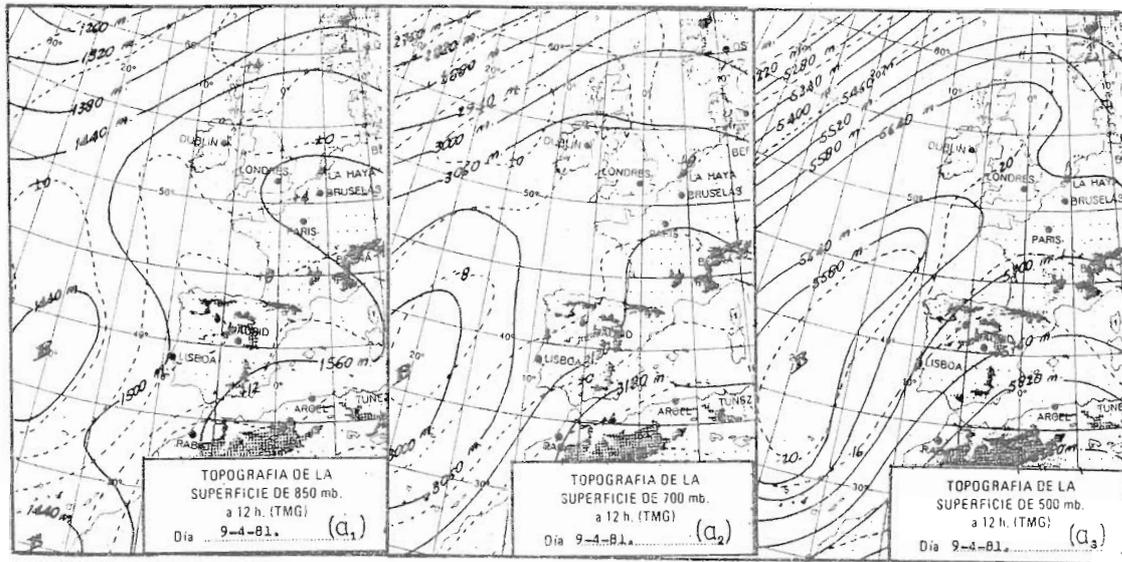


Fig 21. Fig. 21.- Topografías (Boletín del I.N.M.) para el 9 de abril de 1981.

0600Z del día 10 se observa que viene acompañado de un frente frío que está rozando el extremo sur de Portugal. A las 1200Z, dicho frente se sitúa en el límite occidental de la cuenca del Duero y seis horas más tarde 1800Z alcanza el límite oriental de la misma, aunque transformado en oclusión. En el mismo mapa y asociado con el centro de baja presión, aparece un segundo frente frío al oeste de la Península Ibérica. Durante su trayectoria el centro de la borrasca se profundiza unos 4 mbar.

Situación sinóptica: Altitud.

En la figura 21 se observa que persiste sobre la región de interés, una corriente del suroeste durante gran parte del periodo. Esta corriente la ocasiona, en su lado atlántico, una borrasca centrada al oeste de la Península Ibérica, con isohipsas cerradas y cuya formación no la conozco (cut-off low (?)). En la parte oriental (mediterránea) de la corriente hay una cuña.

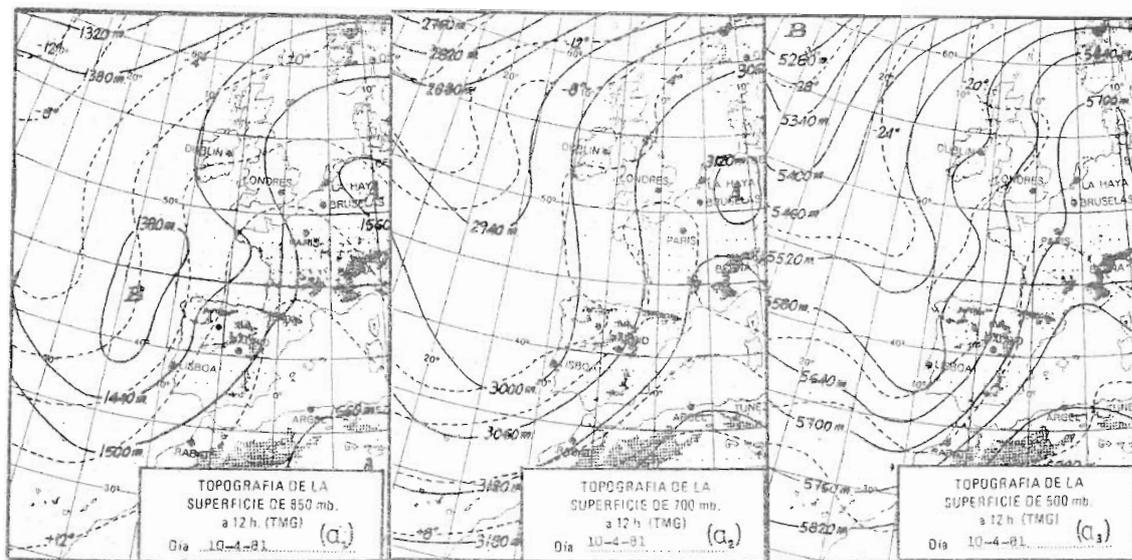


Fig. 22.- Topografías (Boletín del I.N.M.) para el 10 de abril de 1981.

Los mapas de la topografía de 850 hPa y 700 hPa para el día 10 a las 1200Z, muestran claramente (Fig. 22) cómo la baja ha dejado de ser subtropical (barotrópica) para convertirse en extratropical (baroclina) proceso que puede estar asociado con la llegada de una perturbación ciclónica que se desplaza por las latitudes altas hacia el este, y dentro de la que es incorporada formando una vaguada latitudinalmente extendida (mapa de 500 hPa del 10 a las 1200Z). Los vientos en altitud adquieren una componente del sur, más marcada, reflejando un cambio en la orientación del sistema depresionario y de la cuña anticiclónica cuyos ejes adoptan una dirección más meridional (N-S) que la que tenían en el mapa de las 1200Z del día 9.

En la topografía de 300 hPa (no se muestra) del día 9 a las 1200Z la corriente en chorro está situada en la parte oriental de la vaguada, al oeste de África y España, mientras que el día 10, a las 1200Z, el máximo de velocidad se ha alargado y rodea por ambos lados la cuña situada sobre el Mar Mediterráneo.

Sondeos aerológicos

En Villanubla, durante el 9 de abril de 1981 se realizaron tres sondeos con radiosonda a las 0700Z, 1100Z y 1300Z respectivamente (Fig. 23, 24 y 25). En los dos primeros sondeos se observa una inversión, a los 500 hPa, con una temperatura potencial de 313°K que es posible asociar con una zona baroclina de tipo cálido. El tercero muestra una inversión a los 800 hPa con una temperatura potencial de 296°K. Debido al intervalo de 17 horas que transcurren entre el último de los sondeos del día 9 y el primero del día 10, no es fácil imaginar lo que haya podido ocurrir durante dicho periodo (Fig. 44).

En el sondeo de las 0800Z del día 10 (Fig. 26) la humedad relativa ha descendido notablemente, en particular a niveles inferiores a los 500 hPa, con respecto a la medida en el día anterior.

También puede verse en dicha figura una inversión a los 750 hPa con una tempera-

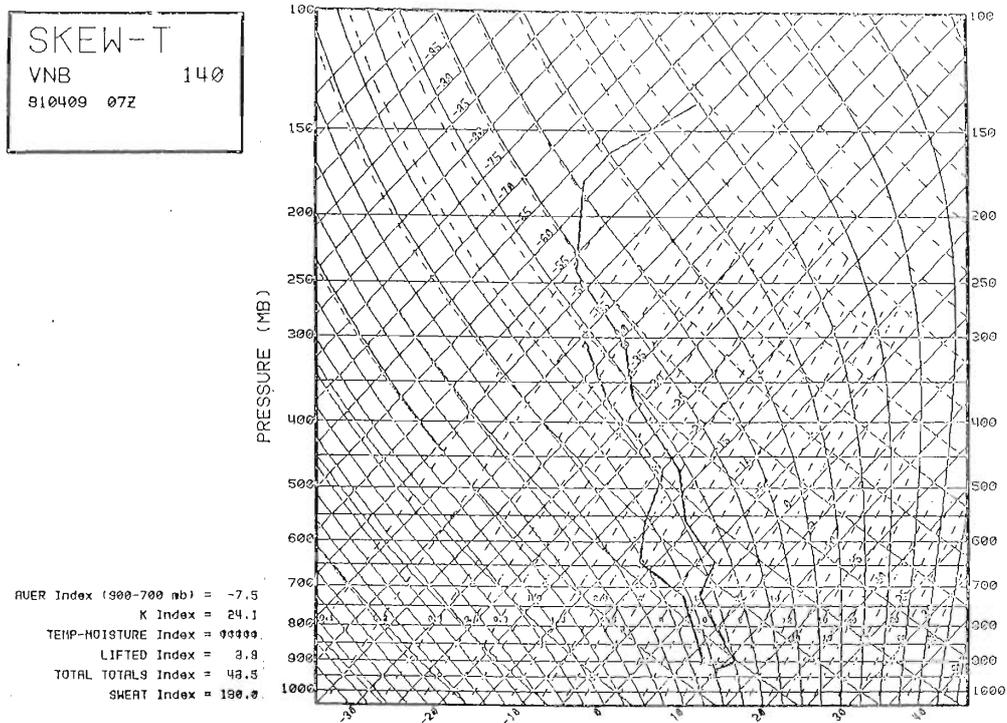
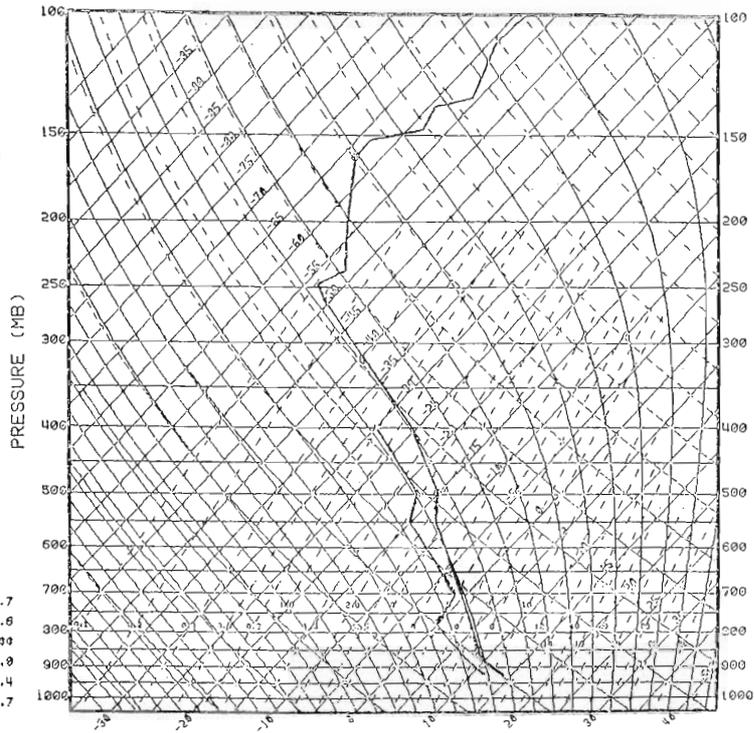


Fig. 23.- Sondeo aerológico en Villanubla el día 9 de abril de 1981 a las 0700Z.

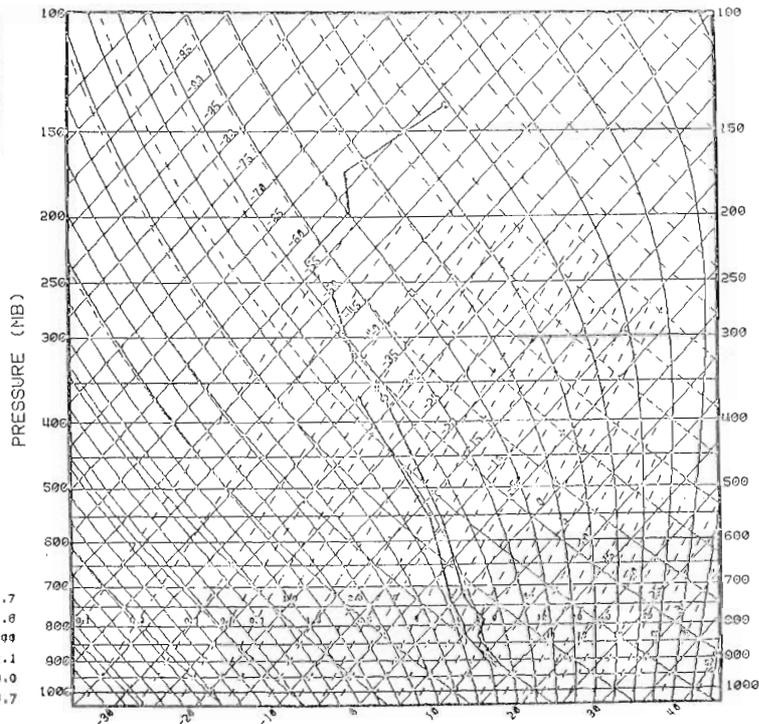
SKEW-T
VNB 140
810409 11Z



RUER Index (900-700 mb) = -7.7
K Index = 27.6
TEMP-MOISTURE Index = 00000
LIFTED Index = 4.0
TOTAL TOTALS Index = 43.4
SHEAT Index = 140.7

Fig. 24.- Sondeo aerológico en Villanubla el día 9 de abril de 1981 a las 1100Z.

SKEW-T
VNB 140
810409 13Z



RUER Index (900-700 mb) = -7.7
K Index = 29.8
TEMP-MOISTURE Index = 00000
LIFTED Index = 2.1
TOTAL TOTALS Index = 48.0
SHEAT Index = 188.7

Fig. 25.- Sondeo aerológico en Villanubla el día 10 de abril de 1981 a las 1300Z.

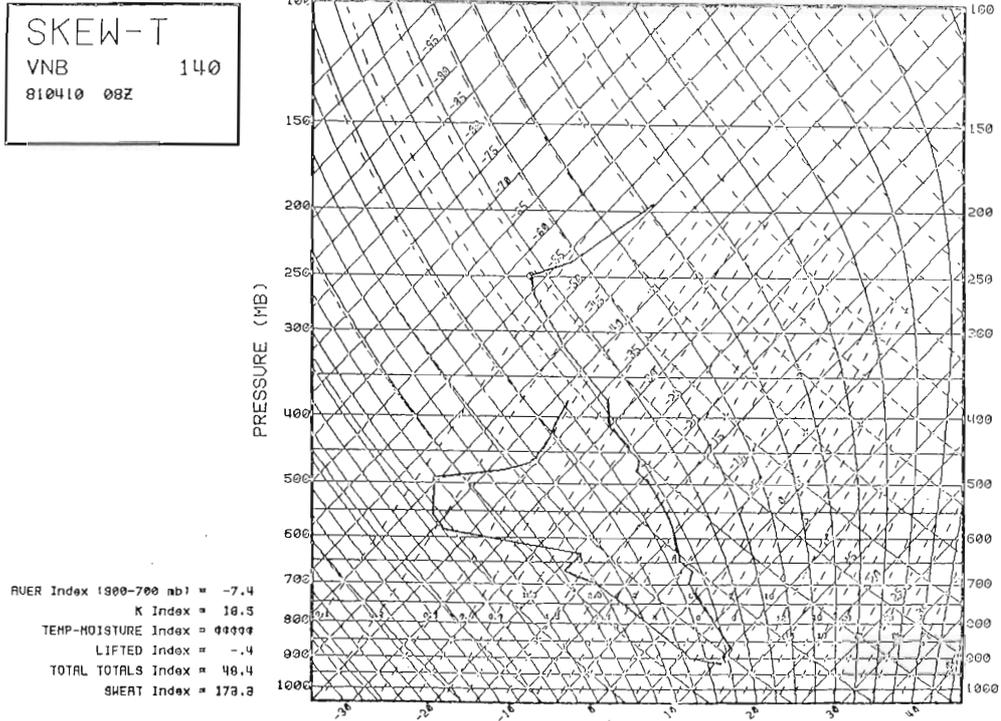


Fig. 26.- Sondeo aerológico en Villanubla el día 10 de abril de 1981 a las 0800Z.

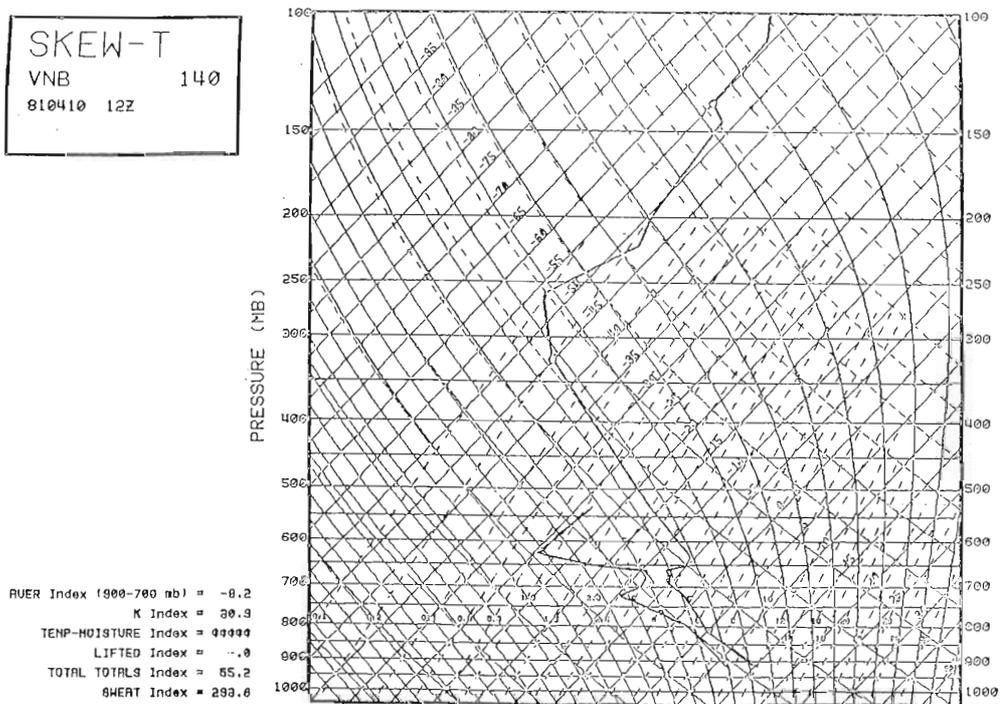


Fig. 27.- Sondeo aerológico en Villanub' el día 10 de abril de 1981 a las 1200Z.

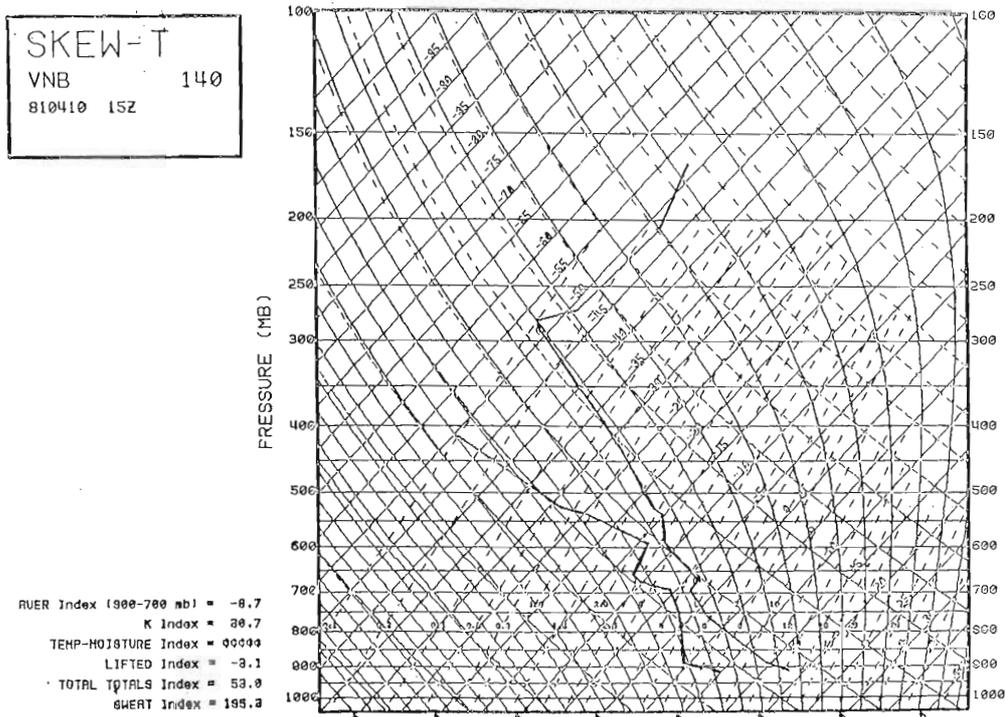


Fig. 28.- Sondeo aerológico en Villanubla el día 10 de abril de 1981 a las 1500Z.

tura potencial de 303°K que por el fuerte descenso de la humedad que la acompaña, debe considerarse como de subsidencia.

A niveles altos (450 hPa) (Fig. 26) hay una capa húmeda que desciende progresivamente a lo largo del día, mientras que de modo simultáneo, la atmósfera también se humedece por los niveles inferiores, especialmente en aquellos debajo de la inversión (Fig. 27 y 28), quizás por un efecto de transporte vertical hacia lo alto de vapor de agua.

Dado que las temperaturas permanecen, tan sólo con ligeros cambios a todos los niveles, hay que concluir que la perturbación que acompaña a la advección es bastante débil y tal vez tiene carácter dinámico (advección de vorticidad) en lugar de presentar contrastes térmicos (frontal).

Los índices de estabilidad indican una progresiva estabilización de la atmósfera. Desde el primer sondeo (090700Z) hasta el último (101500Z) el índice SWEAT pasa de

180 a 195-3 (con oscilaciones), el LIFT de 3.9 a -3.1 (con regularidad) y el K de 24.1 a 30.7 (con oscilaciones). Como ya se ha dicho antes, existe una interrupción entre el primer conjunto de sondeos y el segundo. También conviene recordar que los sondeos sólo son representativos de las condiciones en la parte central de la cuenca del Duero.

Imágenes radáricas

De las imágenes tomadas el 9 de abril de 1981, sólo se presentan tres PPI y seis RHI. La de las 0800Z (Fig. 29) muestra un sistema lineal de ecos. Es estrecho, poco organizado, está situado a unos 25 km de Villanubla en su parte más cercana y se extiende en sentido N-S. La imagen de las 1210Z (Fig. 30) muestra también ecos organizados linealmente, de intensidad moderada en su extremo NW, mientras que en su extremo SE son débiles y difusos. En la imagen de la 1704Z (Fig. 31) aparecen dos alineaciones de ecos, una al norte y otra al sur de Villanubla, paralelas y orientadas NSW-ENE. La más meridional, de

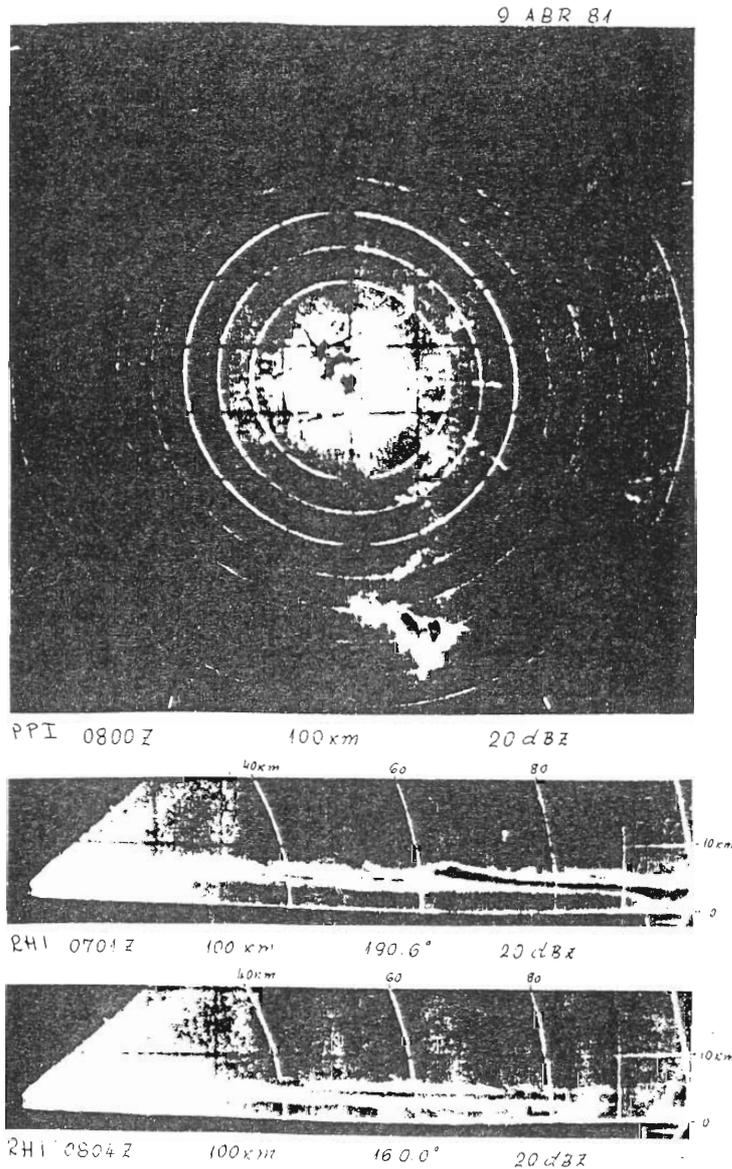


Fig. 29.- Imágenes radáricas (MRI-5) a las horas (Z) y tipos (PPI y RHI) indicados.

unos 50 km de anchura, está en su punto más cercano, a unos 45 km y la otra más estrecha (unos 15 km), a 60 km aproximadamente. No es posible decir nada firme sobre la velocidad y dirección de desplazamiento por no haber continuidad en las imágenes.

Si se acepta, teniendo en cuenta otras informaciones, tales como el corte transversal, mapa sinóptico, etc., que hacia las 1400Z del día 9 pasó por Villanueva una perturbación a niveles superiores orientada aproxima-

damente según una dirección N-S, entonces los primeros ecos observados delante de la perturbación son paralelos, mientras que los segundos son perpendiculares a dicha perturbación. Sin el radar, esta particularidad, muy posiblemente no hubiera sido detectada.

Las imágenes del RHI (Fig. 29) muestran ecos estratiformes (partículas de hielo, As ó Ac, probablemente) que en puntos aislados producen precipitación que llega hasta el suelo. La banda brillante (en negro) está muy

marcada en alturas cercanas a los 4.5 km. La forma de los ecos indica la presencia de vientos de componente sur en altitud.

A lo largo del día 9 aumenta el grado de inestabilidad (Figs. 30 y 31) apareciendo en numerosos puntos, ecos de apariencia convectiva acompañados, con toda probabilidad, de precipitaciones en el suelo.

Del día 10 hay otras tres imágenes (Figs. 32, 33 y 34). La de las 1314Z mues-

tra ecos con precipitaciones aisladas que llegan, tal vez, al suelo; en la segunda, a las 1604Z, los ecos están alineados formando una banda ancha (50 km) y discontinua, orientada NNW-SSE; en la tercera, una hora más tarde, 1703Z esta estructura lineal se ha desplazado 25 km hacia el ENE, intensificándose ligeramente.

Las correspondientes imágenes del RHI no muestran una banda brillante, lo que es característico de situaciones inestables. Un cu-

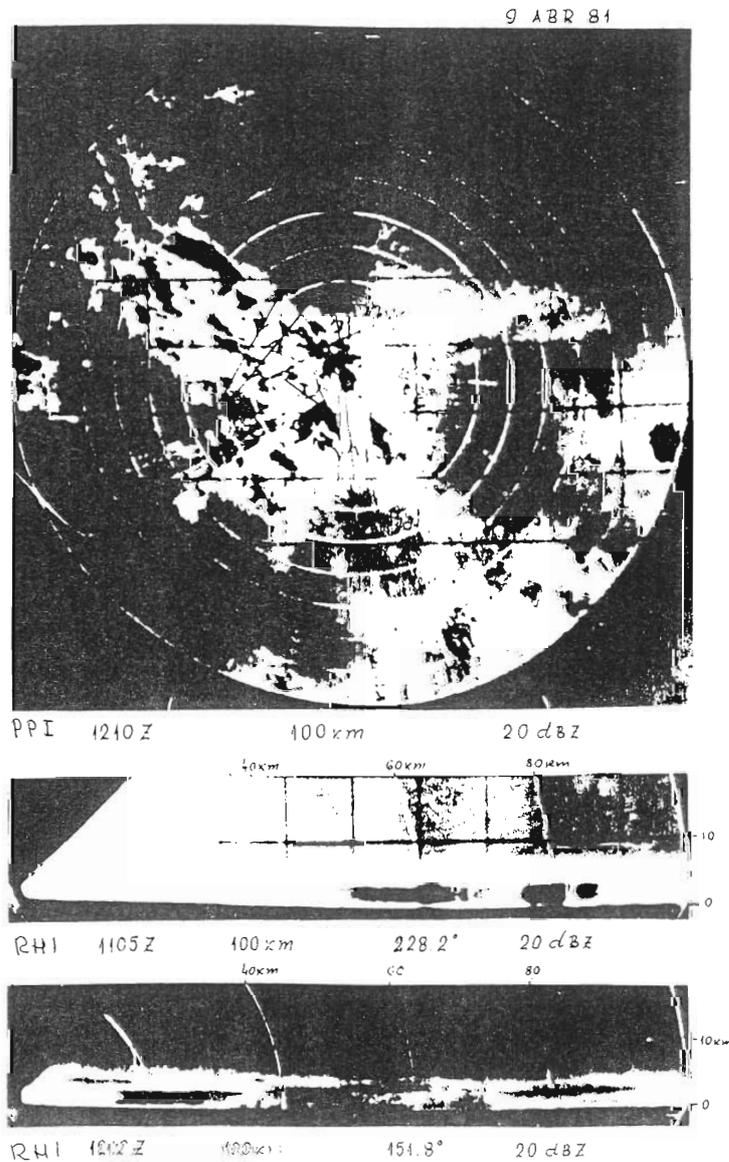


Fig. 30.- Imágenes radáricas (MRL-5) a las horas (Z) y tipos (PPI y RHI) indicados.

mulonimbus es claramente visible en la imagen RHI de las 1755Z.

En la figura 35 se han dibujado superpuestos los ecos que aparecen en la pantalla de RHI a las 1604Z y 1703Z del 10 de abril. A diferencia de lo que puede deducirse de la figura 18, en este caso no hay propagación de los núcleos y sí, solamente, translación con formación y disipación. La banda de ecos se mueve a 25 km/h hacia el ESE coincidiendo con la velocidad del viento a alturas inferiores a los 3 km.

Imágenes satelitarias

Las imágenes satelitarias disponibles son las transmitidas por el NOAA 6, ya que el METEOSAT estuvo fuera de servicio durante la campaña del PIP del año 1981.

En las figuras, a la imagen recibida (de pobre calidad en la reproducción) acompaña un dibujo donde aparecen, además de los contornos de las masas nubosas principales, el meridiano de Greenwich, el paralelo de 40°N, el contorno de España y del norte de

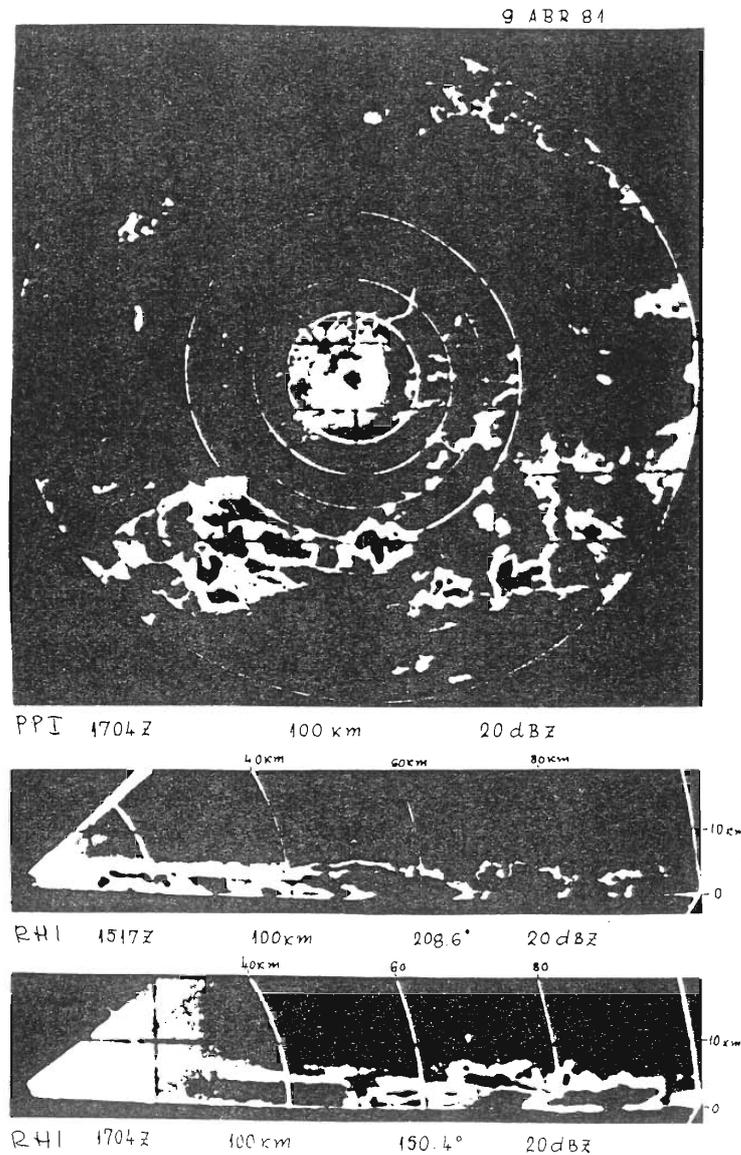
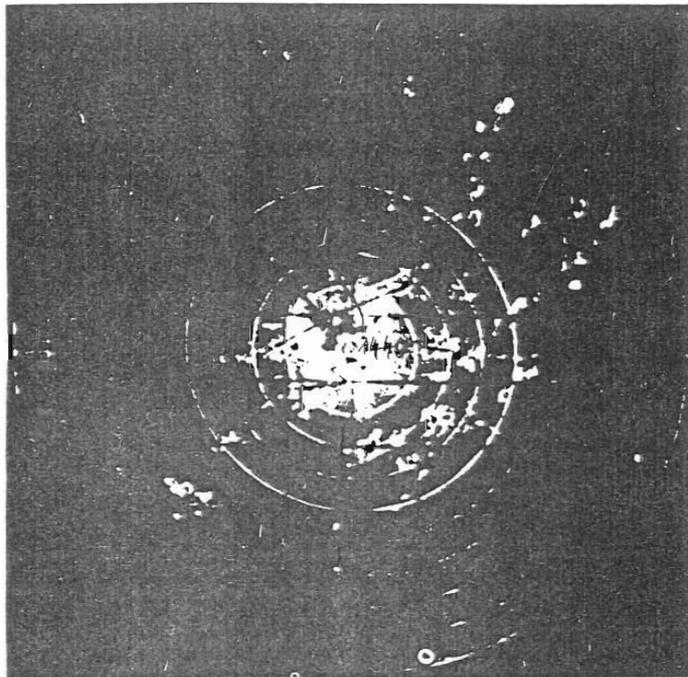


Fig. 31.- Imágenes radáricas (MRI-5) a las horas (Z) y tipos (PPI y RHI) indicados.

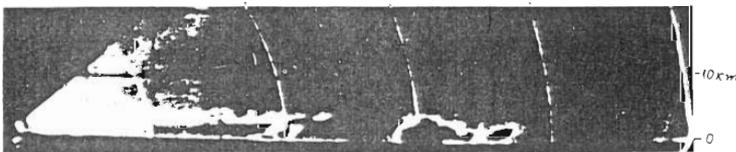
10 ABR 81



PPI 1314 Z 100 km 20 dBZ
40 km 60 80



RHI 1214 Z 100 km 085.0° 20 dBZ
20 km 60 80



RHI 1429 Z 100 km 060.3° 20 dBZ

Fig. 32.- Imágenes radáricas (MRI-5) a las horas (Z) y tipos (PPI y RHI) indicados.

10 ABR 84

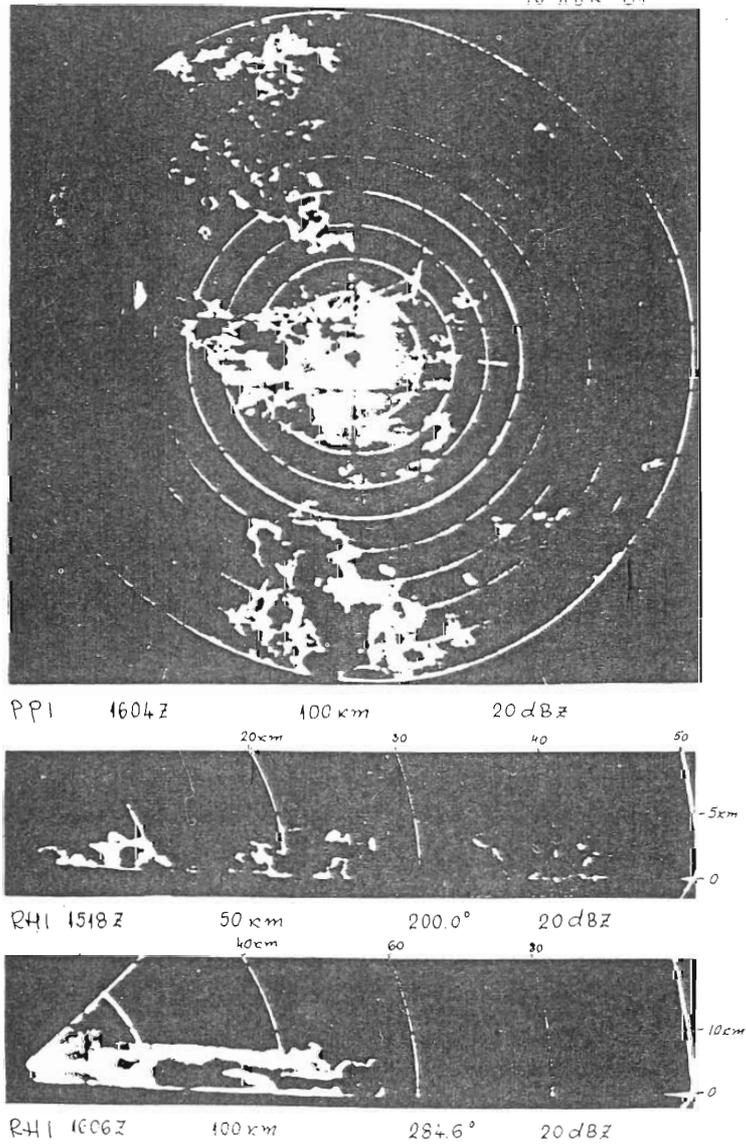
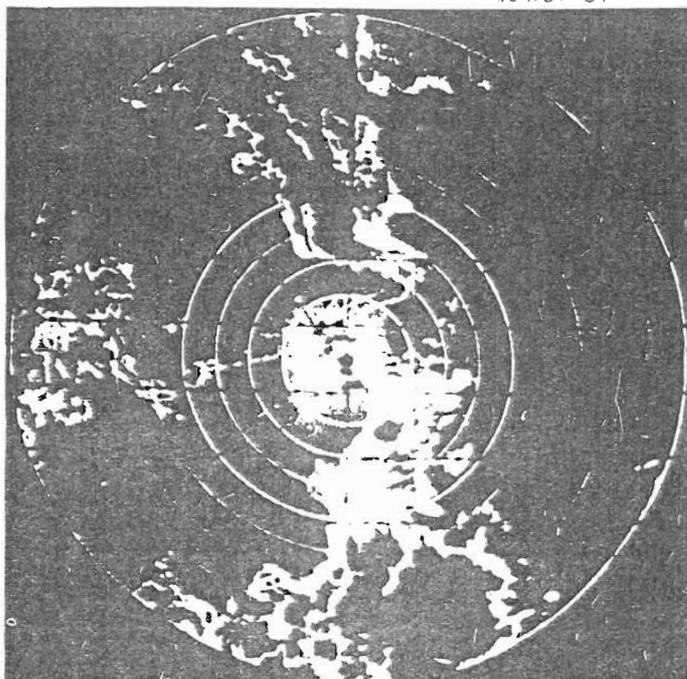
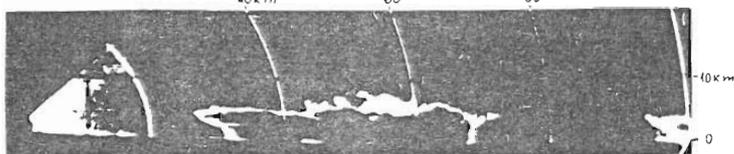


Fig. 33.- Imágenes radáricas (MRL-5) a las horas (Z) y tipos (PPI y RHI) indicados.

10 ABR 84



PPI 1703Z 100 km 20 dBZ



RHI 1704Z 100 km 352.6° 20 dBZ



RHI 1755Z 100 km 121.0° 20 dBZ

Fig. 34.- Imágenes radáricas (RML-5) a las horas (Z) y tipos (PPI y RHI) indicados.

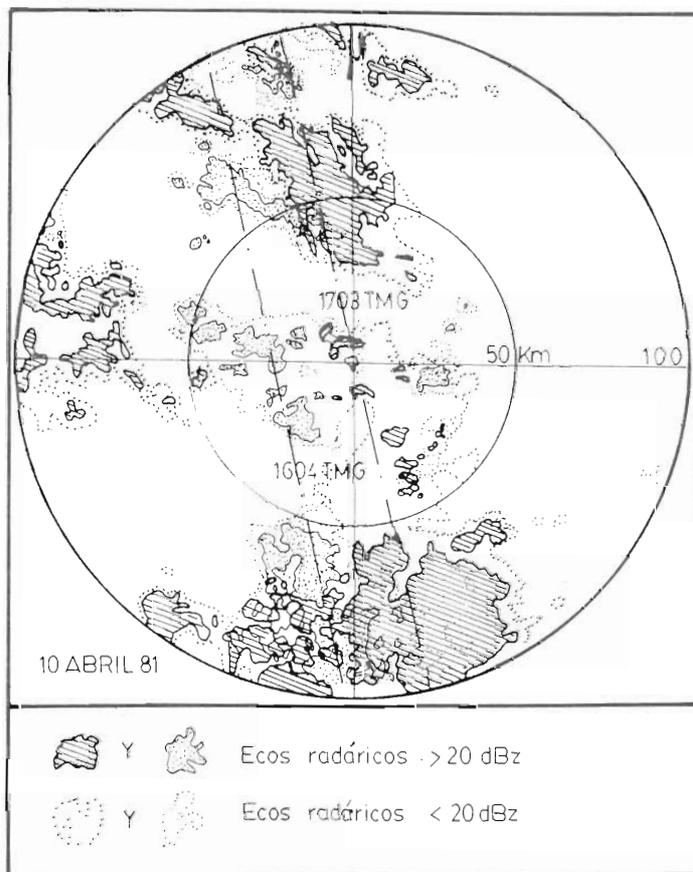


Fig. 35.- Ejemplo (esquemático) de ecos radáricos que se mueven sin propagarse (por advección). Compárese con la figura 18.

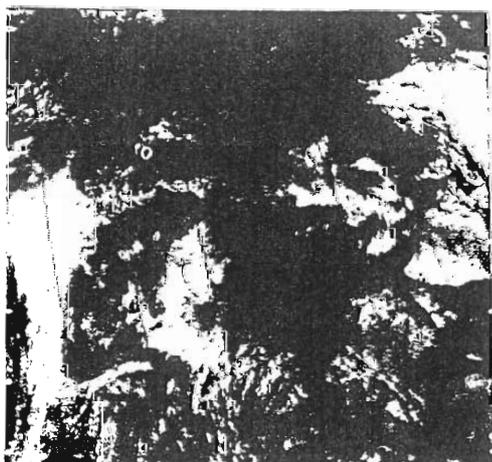
Africa, así como la posición aproximada de Villanubla (un punto). Resulta fácil superponer mentalmente la imagen sobre el dibujo, o viceversa, lo que permitirá un mejor entendimiento de lo que digo en este párrafo.

Comparando las características ópticas del primer par de imágenes recibidas simultáneamente a las 0745Z del 9 de abril de 1981 en los canales VIS (Fig. 36) e IR (Fig. 37), se deduce la presencia de extensas capas de nubes medias y altas sobre la Península Ibérica.

En particular, se observan próximas a la cuenca del Duero (cuya parte central la indica un punto) y más claramente visibles en el canal IR que en VIS, importantes masas nubosas.

Una de ellas, alargada en sentido NNE-SSW, en el lado oriental de Villanubla (punto negro). Comienza en las latitudes bajas y se extiende a lo largo de la costa africana para acabar cubriendo a todo Portugal. La llamaré para distinguirla la masa C₀. La otra, en el lado oriental, tiene la forma de una luna en creciente y la llamaré la masa D.

Por su aspecto fibroso y su alta emisividad en el IR parece razonable asociar la masa C₀ con una ascensión generalizada de aire húmedo subtropical en lado oriental de una circulación ciclónica, con centro en el Atlántico (véase Fig. 21). Debe estar asociada con un máximo o máximos de vorticidad (inicio de una configuración en "coma"). Por su as-



CHS LANNED. AMER VIS NOAA 09/04/81 07453TU 9266 174H

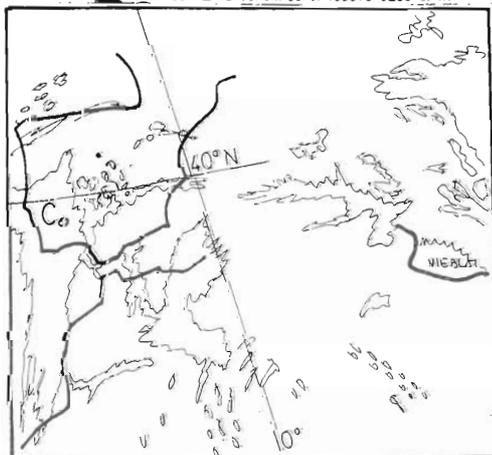


Fig. 36.- Imagen satelitaria (VIS) recibida del NOAA 6 (parte superior). Esquema de los sistemas nubosos y referencias geográficas (parte inferior). 9 de abril de 1981 a las 0745 UTC.

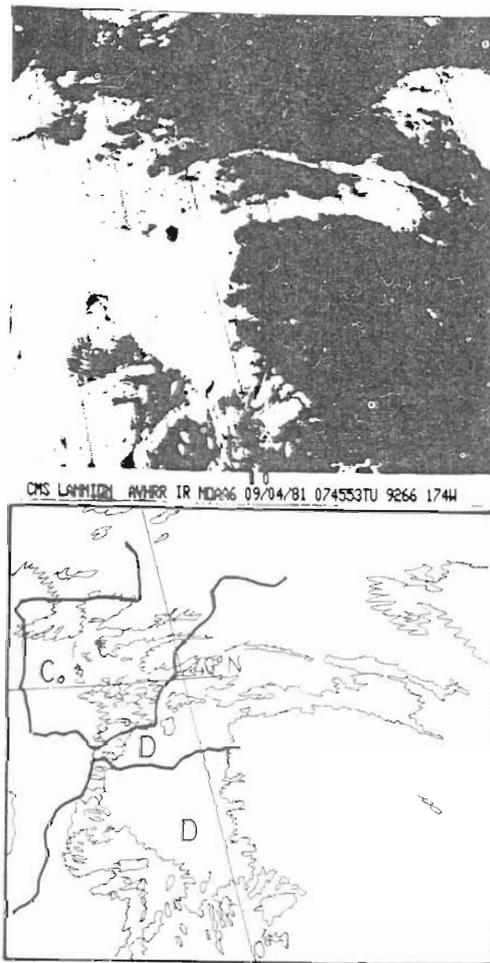


Fig. 37.- Imagen satelitaria (Iir) recibida del NOAA 6 (parte superior), esquema de los sistemas nubosos y referencias geograficas (parte inferior). 9 de abril de 1981 a las 0745TMC.

pecto, la masa D también parece tener su fuente de humedad en los subtrópicos. Corresponde a un movimiento ascendente en circulación asociada con la zona baroclínica que acompaña a una corriente en chorro y que aparece en el lado occidental de la cuña anticiclónica situada sobre Africa del Norte.

Por hallarse la Península Ibérica en la zona de penumbra debido a lo temprano del día, el canal VIS nos dá la imagen de una región pobremente iluminada. Ello hace que la presencia y distribución de las nubes bajas no sea fácil de ver, aunque con toda probabilidad, forman una masa alargada asociada a otra zona baroclínica, en este caso, una de tipo frontal.

En la imagen del canal IR a las 1911Z (Fig. 38) se distinguen dos cambios importantes. Uno de ellos es el rápido alargamiento de la masa D de nubes medias y altas que ahora tiene más de 2.000 km de longitud y está orientada SW-NE y muy al este de la cuenca del Duero. La continuidad entre las imágenes de las figuras 37 y 38 es pobre, pero los 8 grados de longitud (unos 900 km) que la masa D se ha extendido durante el tiempo transcurrido entre ellas (unas 12 horas) sugiere que el mecanismo propuesto (condensación por ascenso generalizado) asociado a una corriente en chorro es válido.

El otro cambio atañe a la masa C₀ que se ha desplazado en 12 horas unos 400 km

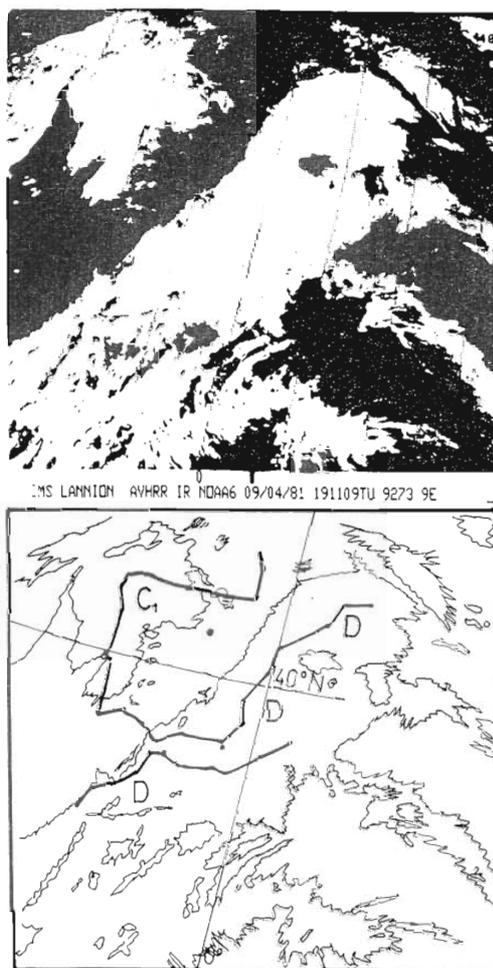


Fig. 38.- Imagen satelitaria (VIS) recibida del NOAA 6 (parte superior). Esquema de los sistemas nubosos y referencias geográficas (parte inferior). 9 de abril de 1981 a las 1911TMG.

hacia el norte. Una configuración en “coma” es visible (masa C_1), lo que nos dice que el proceso de ciclogénesis está avanzando. La madurez del sistema la confirma el penacho de cirros que se extiende a ambos lados de la “coma”, después de pasar por encima de ella.

Hay que suponer, como es usual en estos casos, que una zona baroclínica se extiende desde el centro del vórtice a lo largo de la cola de la “coma”, donde se observan en la imagen indicios de actividad tormentosa con penachos aislados de cirrus (yunque), la circulación favorece este desarrollo, al aportar aire subtropical húmedo al sistema.

En la misma imagen puede verse que en-

tre la masa C_1 y la D existe una banda sin nubosidad asociada, muy probablemente, con la subsidencia que acompaña el lado occidental de una corriente de chorro. Este fenómeno está indicado, en la imagen satelitaria, por el borde nítido que muestra la masa C_1 orientada en su parte central del NE al SW. La configuración y la posición relativa de estas dos masas nubosas repite el modelo clásico de ciclogénesis del tipo vortical frío, según aparece en las imágenes satelitarias.

Después de casi 12 horas sin datos satelitarios, las siguientes imágenes, recibidas el 10 de abril de 1981 a las 0903Z, tanto en el canal VIS (Fig. 39) y en el canal IR (Fig. 40), de nuevo muestran que han ocurrido cambios notables en las configuraciones nubo-

sas. Lo que pasó durante el periodo sin observaciones, es algo sobre lo cual sólo se pueden hacer conjeturas. En el último capítulo de este trabajo (consideraciones finales) se presenta una reconstrucción de cómo el sistema pudo evolucionar.

Cualquiera que haya sido esta evolución, lo evidente es que en el mismo lugar que la imagen anterior, frente a las costas del norte de Portugal y Galicia, hay un vórtice en vía de disipación que corresponde al formado 24 horas antes y que está caracterizado por bandas de nubes bajas en espiral.

Al norte del vórtice aparecen grandes masas de apariencia fibrosa que pueden tener

su origen en una extensión hacia el NW de la masa D. Lo más probable es, sin embargo, el que pertenezcan a la circulación del SSW que forma parte de la onda extratropical que se desplaza en las altas latitudes hacia el este. Esta perturbación está, a todas luces, relacionada fuertemente e influye de una manera clara sobre el desarrollo del vórtice que he mencionado antes.

También es de destacar la división de núcleo C_0 en dos núcleos nubosos (que se ven mejor en la imagen del canal IR). Llamaré E al más septentrional y F al otro. Desde esta última masa se extiende, a lo largo de la costa occidental de Africa, una línea de actividad convectiva G.

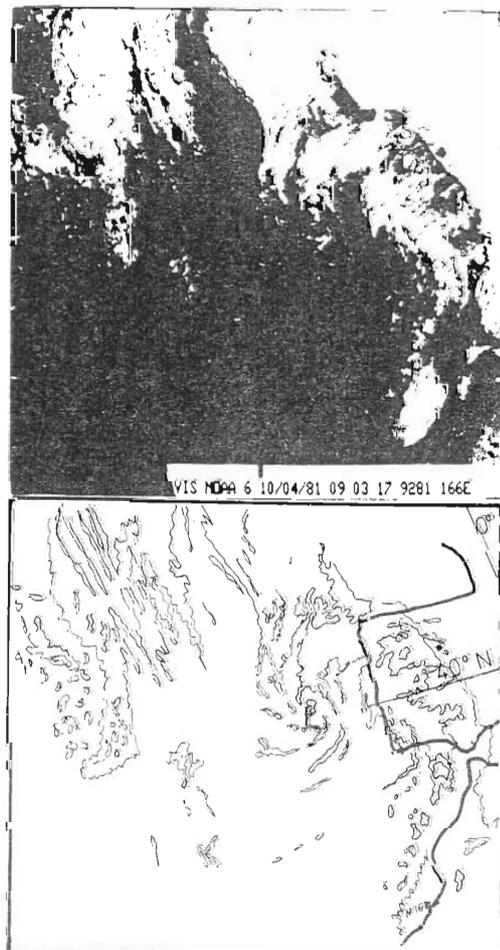


Fig. 39.- Imagen satelitaria (VIS) recibida del NOAA 6 (parte superior). Esquema de los sistemas nubosos y relaciones geográficas (parte inferior). 10 de abril de 1981 0903Mag.

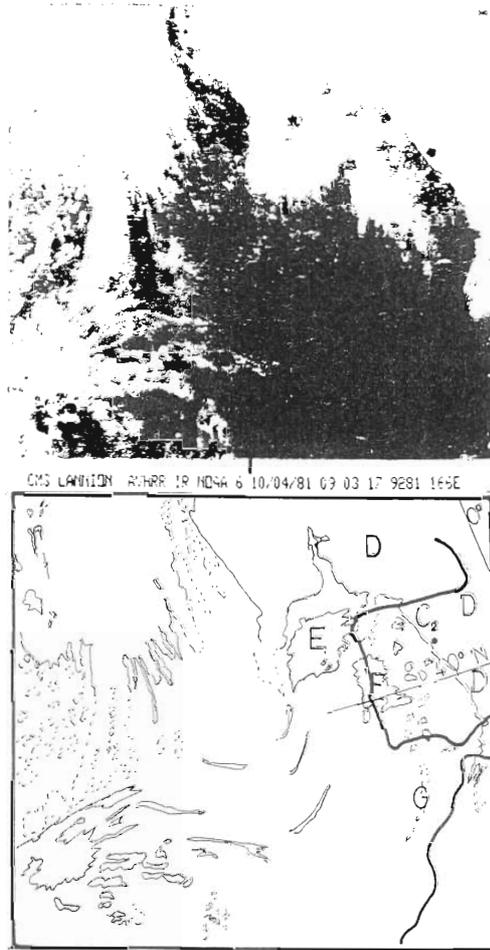


Fig. 40.- Imagen satelitaria (VIS) recibida del NOAA 6 (parte superior, esquema de los sistemas nubosos y referencias geográficas (parte inferior). 10 de abril de 1981 a las 0903ZMG.

El borde occidental de la masa D no se ve en la imagen. Lo que en cambio se observa es el borde sur de la "coma" (masa C_2) que acompaña al máximo de vorticidad y que se refleja en el suelo como un frente frío. El indicio más claro de que esto es así, es el cambio de orientación que ha sufrido dicho borde, que ha pasado a ser del SSE-NNW, mientras que en la imagen anterior (Fig. 38) era del SW-NE.

El aire seco y la subsidencia que acompañan la dinámica del máximo de vorticidad aparecen, como es de esperar, en el sondeo de las 0700Z del día 10.

El chorro que va unido a la masa D (y por tanto el borde occidental de la misma),

debe estar desplazado hacia el este, pero la imagen no permite verlo.

En consecuencia, es posible imaginar que durante las 12 horas sin observaciones satelitarias, el sistema asociado con la masa C_1 ha envejecido rápidamente, mientras que la zona baroclínica fría que lo acompaña se ha desplazado rápidamente hacia el N y el NE pasando a través de la cuenca del Duero durante las horas de la noche.

Detrás de esta zona, cuyo paso por Villanueva no está documentado por las imágenes satelitarias disponibles, se ha formado otra, como lo indica la masa E con la cual está asociada.

Su prolongación hacia el sur está bien marcada por la línea de nubes convectivas G a lo largo de la costa de Africa. Este es el frente que aparece en el mapa de superficie del INM a las 0600Z del 10 de abril.

Una comparación entre la imagen en el canal IR recibida a las 1848Z (Fig. 41) y la anterior (9 horas de diferencia) del mismo tipo, sugiere que ha ocurrido un aumento en el área cubierta por la masa nubosa asociada con el vórtice L en disipación.

En su conjunto se observa que todos los sistemas se han movido hacia el este, y que el

vórtice que estaba sobre el atlántico y ahora está sobre la Península Ibérica, afecta y afectará a la cuenca del Duero. Esta masa la indicaré por H y corresponde a un estado posterior en la evolución de la masa que comenzó como C₀ y luego se subdividió en dos, E y F, y ahora su circulación se ensancha al tiempo que el sistema se rellena.

De lo dudoso de casi todo lo dicho, queda claro que los problemas con los que hay que enfrentarse para explicar la formación de todas las masas nubosas que se observan en una imagen satelitaria, incluso utilizando los datos de dos canales, son formidables y muy



CMS LANNON AVHRR IR M0446 10/04/81 194840TU 9297 015E

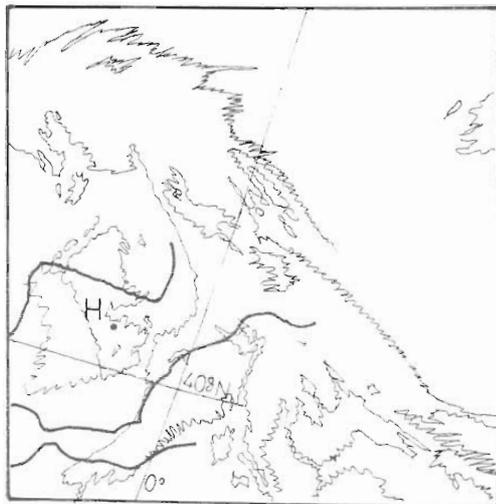


Fig. 41.- Imagen satelitaria (VIS) recibida del NOAA 6 (parte superior). Esquema de los sistemas nubosos y referencias geográficas (parte inferior). 10 de abril de 1981 a las 1848TMC.

difíciles de resolver. Un requisito básico para ello, es el disponer con la máxima frecuencia posible, de imágenes satelitarias.

En términos operativos, de las imágenes satelitarias que aquí se presentan, puede deducirse que sobre la cuenca del Duero sería de esperar:

- 1 Abundante nubosidad a niveles medios y altos durante las 48 horas consideradas.
- 2 Periodos de precipitación entre las 0715Z y las 1911Z del día 9, debidos a la masa nubosa C₀ y a los que sigue un
- 3 Periodo con pocas nubes bajas y con nubes medias y altas de poco espesor.
- 4 Desde las 1911Z del día 9 a las 0903Z del día 10 no hay imágenes satelitarias.
- 5 Periodo de lluvias débiles y dispersas por toda la cuenca desplazándose de oeste a este, y comenzando por la mañana en el borde occidental y terminando por la noche en el borde oriental.

Clasificación PIP de los tipos de nubes

Utilizando los mismos símbolos que en el caso A los días 9 y 10 de abril fueron clasificados de esta manera:

Hora (TMG)	00-06	06-12	12-18	18-24
9.V.81	B	AC	AC	AC
10.V.81	AC	AC	C	C

Queda así descrito el carácter general de la situación atmosférica durante estas 48 horas. De ellas, las seis primeras son de inestabilidad moderada a las que siguen treinta horas de nubosidad profunda. Las últimas 12 horas son de retorno a la estabilidad con nubes de poco desarrollo vertical.

Corte transversal

También aquí se utilizan los símbolos ya

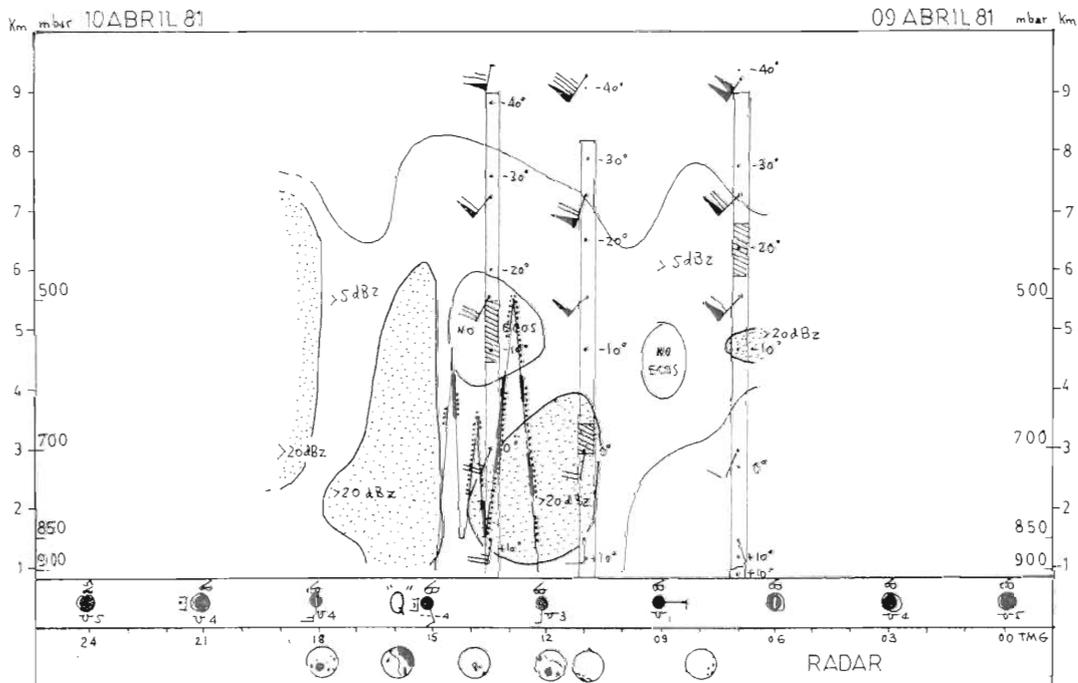


Fig. 42.- Corte transversal de la atmósfera sobre Villanubla. (9 de mayo de 1981).

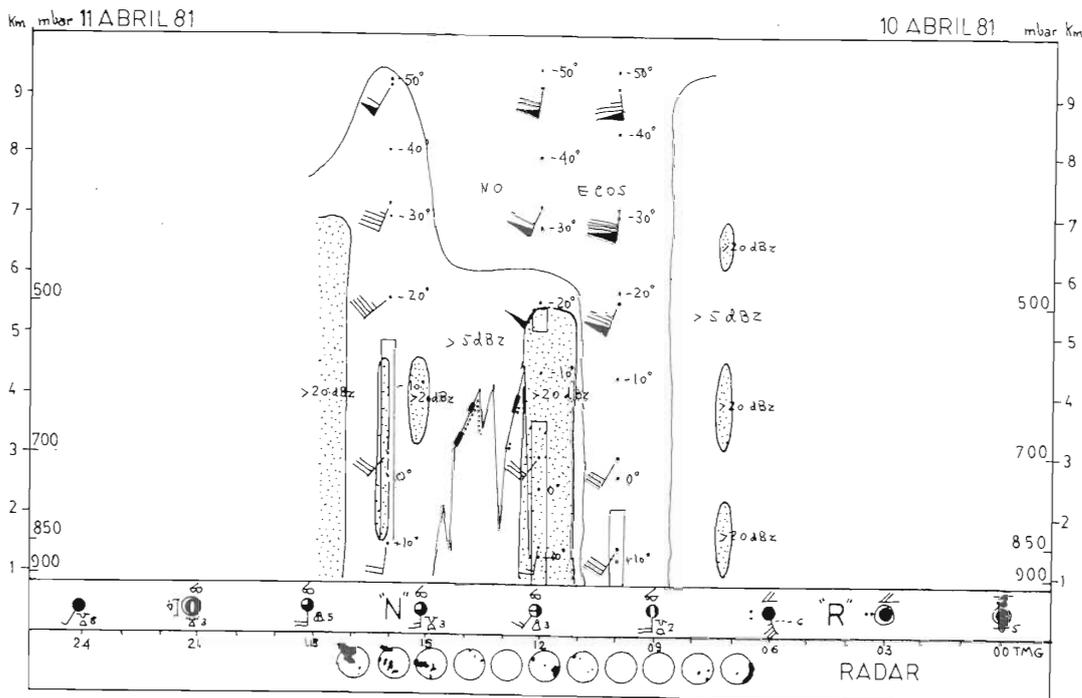


Fig. 43.- Corte transversal de la atmósfera sobre Villanubla. (10 de mayo de 1981).

descritos en el corte transversal del caso A. En la atmósfera sobre Villanubla el 9 de abril (Fig. 42) el nivel de los 4 km separa dos capas cada una con vientos de características diferentes. En la inferior, los vientos son débiles y de componente sur, mientras que en la superior, los vientos son fuertes (100 nudos a 9 km a las 0700Z) y de componente SW. Durante el día 10 (Fig. 43), los vientos de la capa inferior se refuerzan (30 nudos) y giran al SW, mientras que los de la capa superior se debilitan en un cincuenta por ciento e incrementan su componente sur. Comparando el primer sondeo (090700Z) con el último (101700Z) se observa que la fuerte cizalladura vertical (niveles desacoplados) presente inicialmente, ha sido substituída por un aumento monotónico de la velocidad desde el suelo hasta los niveles más altos (9 km).

La isoterma de 0°C muestra ondulaciones manteniéndose por debajo, pero próxima, a los 3 km.

Las observaciones trihorarias de super-

ficie pueden interpretarse como indicando el paso por Villanubla de una perturbación moderada hacia las 1600Z del día 9, de otra perturbación (frente frío) hacia las 0600Z del 10 de abril, sin confirmar por observaciones radáricas o de radiosonda, y de una tercera, débil, hacia las 1700Z del día 10.

Durante las 48 horas estudiadas, el cielo estuvo cubierto con nubes medias. Las nubes bajas, Sc durante el día 9, cambian a Cu y Cu cong. el día 10 después del paso de la perturbación.

Los tres sondeos del día 9 muestran que la atmósfera está saturada hasta los 9 km, pero en los del día 10 se observa que solamente lo están los niveles bajos. El valor mínimo (unos 2 km) se registra durante el sondeo de las 1000Z pero progresivamente a lo largo del día, la humedad alcanza niveles más altos (5 km a las 1700Z).

Las temperaturas registradas en los sondeos del día 10 de abril a todos los niveles,

son considerablemente inferiores a las del día 9.

En su conjunto, estas observaciones concuerdan, a rasgos generales, con la estructura atmosférica deducida de los otros tipos de análisis descritos antes.

Análisis cronológico de los periodos lluviosos

La metodología empleada para el análisis de este periodo (caso B) es la misma que la usada en el caso A.

La variedad de sistemas lluviosos y sus diferentes direcciones de movimiento junto con la mayor duración del periodo hacen más difícil la interpretación de los diagramas.

Las figuras 43 y 45 muestran cómo se han agrupado los datos (en franjas y líneas respectivamente) mientras que los correspondientes diagramas DF y DL aparecen en las figuras 44 y 46. Resulta ventajoso consultar dichas figuras, así como la figura 47, para poder entender mejor lo que sigue.

La situación es compleja y quizás pueda darse a los datos una interpretación diferente de la que aquí presento. La red de pluviógrafos es irregular y algunos de ellos tuvieron fallos.

Los símbolos empleados son los mismos que los del caso A y su significado ha sido descrito en la parte correspondiente. Las velocidades indicadas se refieren a distancias normales al movimiento del sistema.

En el diagrama DF (Fig. 44) se distinguen varios periodos lluviosos que he clasificado según el orden cronológico de aparición en:

Sistema O

Tiene lugar en la parte más oriental de la cuenca (pluviógrafos 03, 14 y 12). Se forma y se deshace "in situ". Su posible origen hay que asociarlo a efectos orográficos bien del tipo ocasionado por una convergencia provocada por descenso catabático o bien como respuesta a un fenómeno ondulatorio a sotavento en las capas altas.

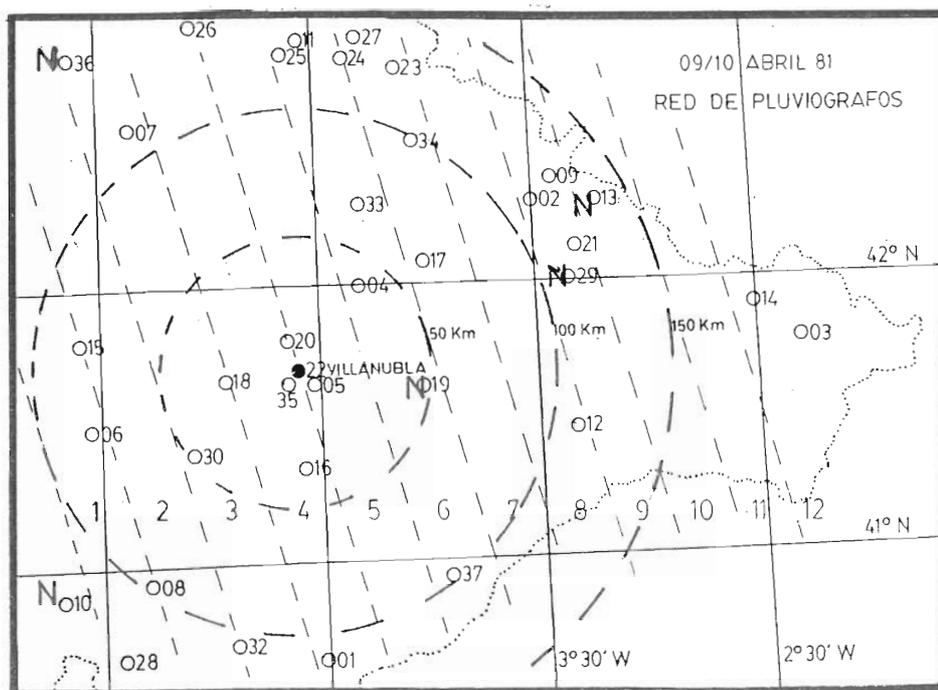


Fig. 44.- Ordenamiento de la red de pluviógrafos según franjas para el caso B.

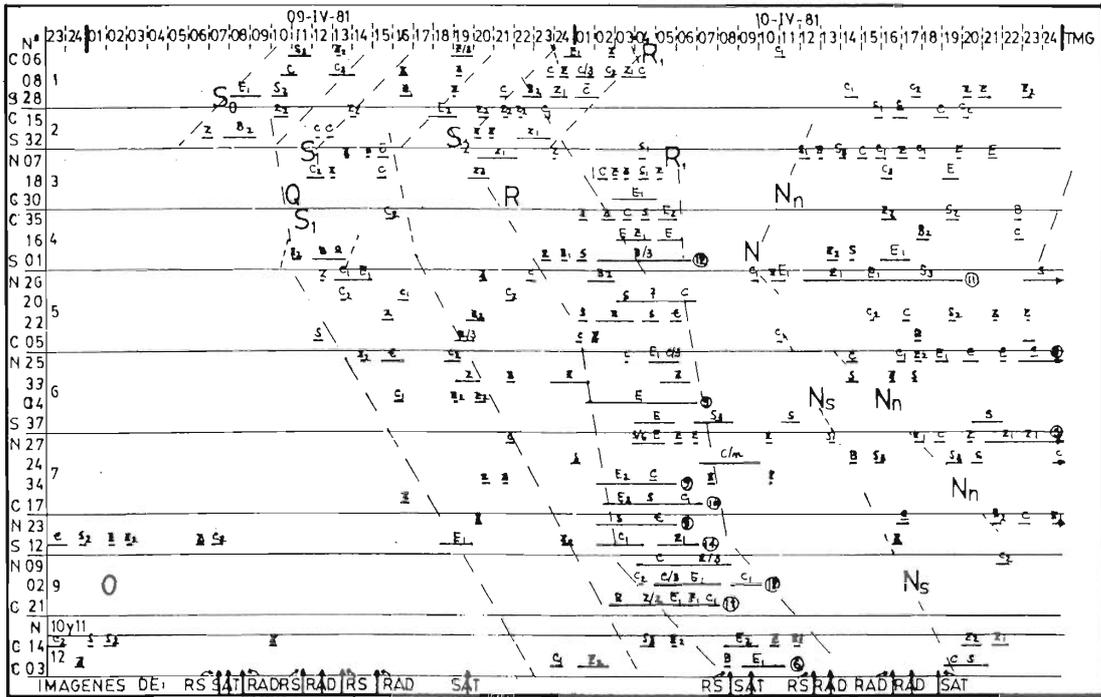


Fig. 45.- Diagrama de franjas (DF) para el caso B.

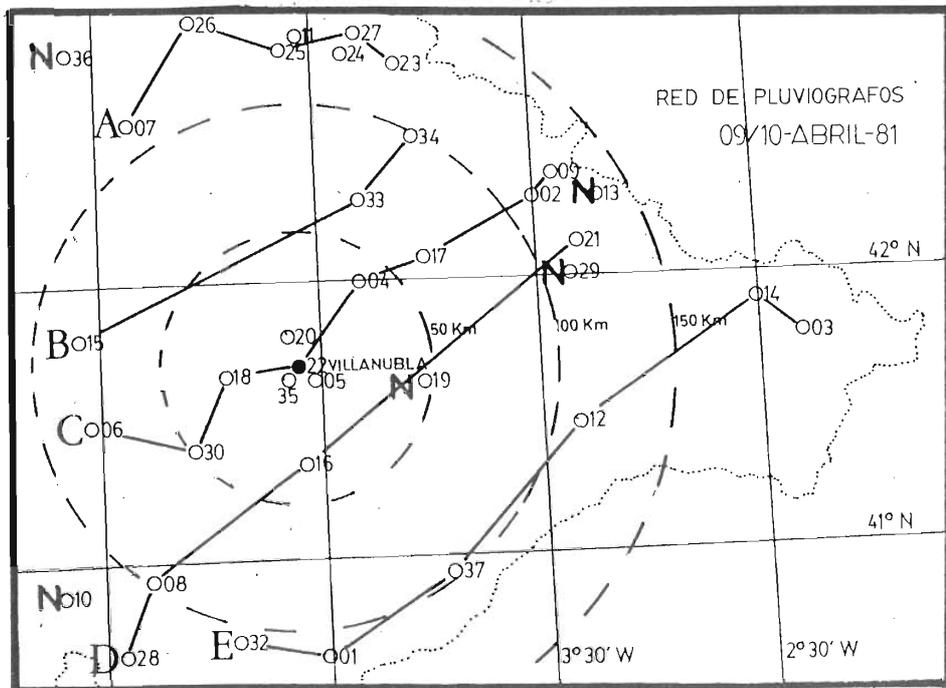


Fig. 46.- Ordenamiento de la red de pluviógrafos según líneas para el caso B.

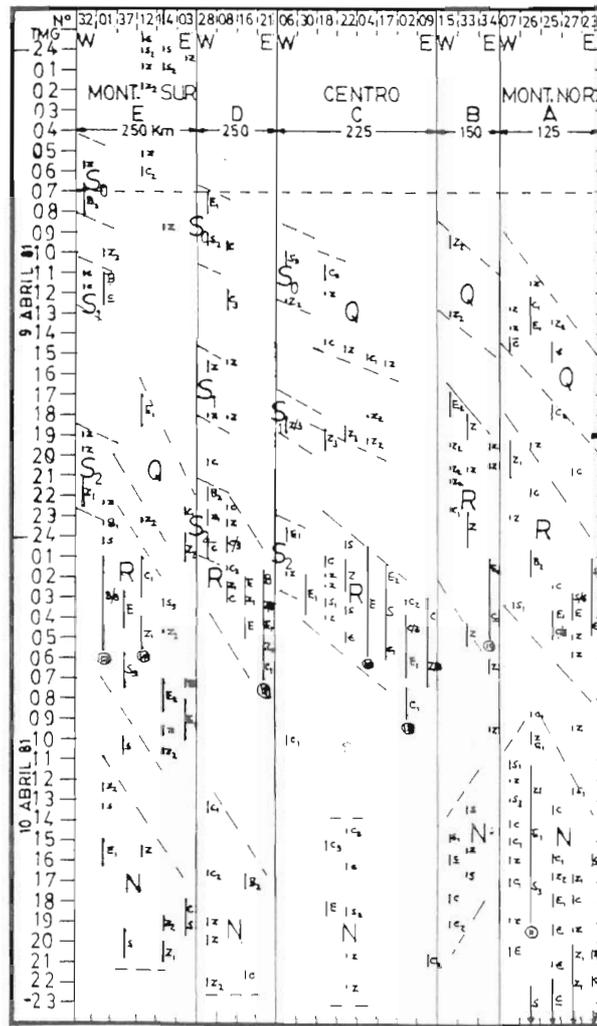


Fig. 47.- Diagrama de líneas (DL) para el caso B.

Sistema S

Tienen lugar en el cuadrante SW de la cuenca. El sistema lluvioso (S_0) comienza hacia las 0600Z del día 9 en el pluviógrafo 32, uno de los más meridionales de la red, y se propaga hacia el NNW con una velocidad de 25 km/h.

Cuatro horas más tarde ocurre un fenómeno similar (S_1). Comienza en el pluviógrafo 01, el más meridional de la red, a las 1000Z y se desplaza en la misma dirección y con la misma velocidad que en el caso S_0 . A las 1800Z se repite el fenómeno anterior. Comienza en el pluviógrafo 32 y se propaga con dirección y velocidad muy similares a las de S_0 .

y S_1 . Lo llamo S_2 .

La estructura, el ritmo de ocurrencia, la distribución de periodos lluviosos, son muy parecidos para los tres sistemas S.

Sistema Q

Mientras simultáneamente se desarrolla el sistema S_1 , el día 9 a las 1000Z y en el pluviógrafo 15, el más occidental de la red, aparece otro sistema que se propaga hacia el NE (pluviógrafos 07, 26 y 25 en el norte; 18, 20 y 04 por el centro) y termina barriendo la parte más oriental de la cuenca (pluviógrafo 03), aunque pasa sin precipitar sobre el cuadrante NE (pluviógrafos 23, 09, 02 y 21). La veloci-

dad media es de 20 km/h. La anchura es de unos 100 km. Su naturaleza no la conozco.

Sistema R

De nuevo el día 9 a las 1700Z llega un nuevo sistema al pluviógrafo 15, mientras que como en el caso del sistema Q, simultáneamente comienza el sistema S₂ (compárese el pluviógrafo 15 con el 32) en el sur.

El sistema R muestra inicialmente poca organización pero siete horas más tarde se organiza e intensifica. Su velocidad era de

unos 10 km/h, pero a partir de las 0100Z del día 10 acelera alcanzando los 30 km/h. Más tarde disminuirá a unos 15 km/h cuando a las 1000Z pasa por el pluviógrafo más oriental, el 03. La anchura de la banda lluviosa es de unos 90 km. El movimiento del sistema R, relativamente regular en dirección ENE, presenta una anomalía R, sobre los pluviógrafos 06, 30 y 16 (la misma a lo largo de la cual, en el caso A, se propagó más rápidamente la precipitación) donde no llueve al paso del sistema R. Una vez que comienza a llover en el pluviógrafo 06 a las 2400Z del día 9, quizás por la llegada del sistema S₂, la lluvia

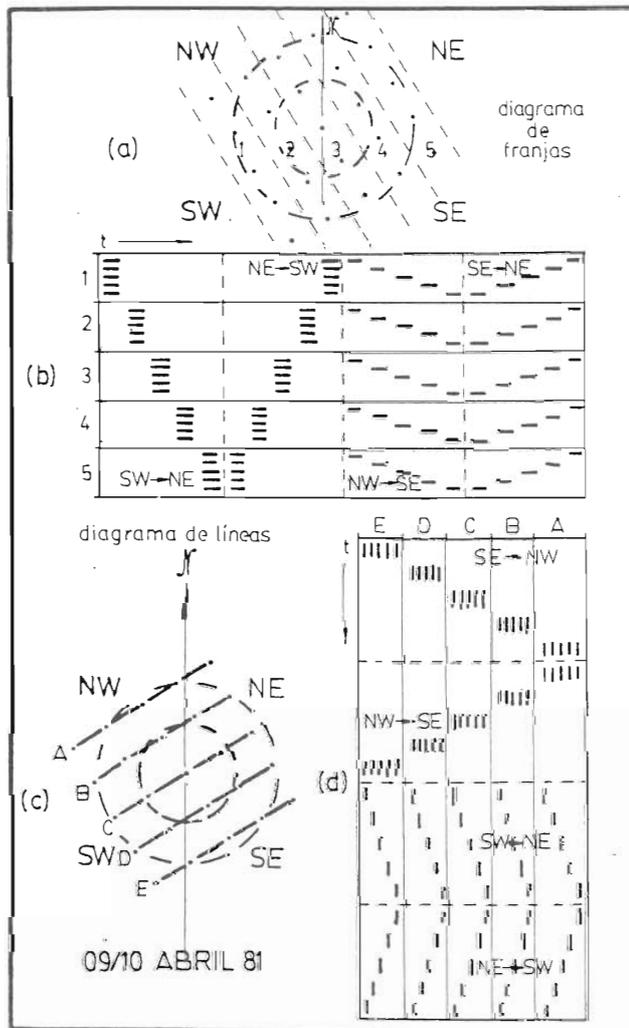


Fig. 48.- Representación esquemática de situaciones idealizadas para el caso B. (Diagramas (DE) y (DL)).

se propaga rápidamente a lo largo de dicha línea del pluviógrafo alcanzando al resto del sistema R entre las 0300Z y 0400Z habiéndose movido con una velocidad de 25 km/h.

Las cantidades mayores de precipitación se recogen en los pluviógrafos cercanos a la divisoria de la cuenca, en su cuadrante NE.

Sistema N

Este sistema se desarrolla durante el día 10 a partir de las 1000Z y continúa más allá del fin de dicho día (2400Z). Presenta características muy diferentes del R y una posible interpretación es que refleja la presencia a una perturbación débil que resulta modulada por efectos locales (orográficos) en el norte, centro y sur, aunque los datos disponibles no permiten descartar la alternativa de que esté formado por tres sistemas, uno al norte, otro central y otro al sur que se desarrollan con cierta independencia entre ellos.

Se observa que en el cuadrante SW los pluviógrafos 06, 30 18 y 08 y en el NE los pluviógrafos 09, 02, 17, 04 y 21 no recogieron lluvia durante las horas que correspondería al paso de este sistema.

Las lluvias más duraderas y las cantidades mayores ocurren sobre los pluviógrafos del cuadrante norte y comienzan en el pluviógrafo 26, el más septentrional de la red. El orden de aparición de la lluvia en los pluviógrafos vecinos (alineación NW) sugiere que está producida por una perturbación que se mueve en dirección ESE a unos 10 km/h.

La hora de comienzo de la precipitación en la región próxima a las montañas al sur y en el extremo oriental de la cuenca, puede interpretarse como que la perturbación mantiene su velocidad (alineación N-S), pues pluviógrafos como el 14 y el 03 reciben lluvia a la hora que podría preverse que ocurriera.

La lluvia que cae en el grupo central de pluviógrafos (números, 22, 05, 18 y 16)

presenta un problema en cuanto a su origen. Una característica interesante es el ritmo pulsante de la precipitación que cae sobre ellos, como puede verse en la tabla donde se da el número de estaciones que registran precipitación dentro de un círculo de 50 km de radio alrededor de Villanubla, así como su hora de ocurrencia (intervalo de dos horas).

Hora (TMG)	13/15	15/17	17/19	
Nº Estaciones	0	3-	1	
19/20	20/21	21/22	22/23	23/24
3	0	3	0	2

lo que sugiere una regeneración "in situ" del mecanismo que origina la precipitación.

Este comportamiento ya había ocurrido el día 9, durante el sistema Q, cuando en la misma región se observa lo siguiente:

Hora (TMG)	11/13	13/15
Nº Estaciones	1	0
15/17	17/19	19/21
4	0	4

Análisis CLAMOR

La clasificación de las trazas pluviográficas de cada periodo lluvioso fue aplicada a los diferentes sistemas encontrados (Fig. 44 y 46) Los resultados obtenidos fueron:

Sistema O

El número de pluviógrafos es muy reducido pero su estructura es bastante homogénea, predominando las clases C - S - Z y subclases de estos grupos.

Sistema S

Los subsistemas S₀ y S₃ tienen una estructura similar, con periodos iniciados con

trazas de clase E. También ambos tienen casos de la clase B, sin embargo sólo S_0 tiene trazas de la clase S. El subsistema S_2 tiene sólo trazas de la clase Z, lo que puede reflejar su menor intensidad.

Sistema Q

Tiene la estructura de una perturbación débil con sólo clases C y Z. Las clases B y E aparecen únicamente en pluviógrafos de regiones montañosas, el 01 y el 12, en el sur y el 26 en el norte. Pudiera pensarse que se trata de un sistema "viejo" con alto contenido de partículas de hielo (glaciado).

Sistema R

En este sistema trazas de la clase E son muy frecuentes en las regiones montañosas, pero también aparecen en la llanura, por ejemplo en los pluviógrafos 04 y 30. La clase B aparece tanto en los pluviógrafos de las montañas del sur, el 01 y el 37, como en los septentrionales, tales como el 26, 21 y el 03. Las subclases S aparecen agrupadas en la región central (pluviógrafos 35, 20, 22 y 17) aunque también hay periodos con dicha clase en la periferia (pluviógrafos 37, 27 y 23). Subclases "múltiples" son frecuentes (pluviógrafos 01, 25, 27, 24, 09, 02 y 21), todos, excepto el 01 están en las montañas septentrionales.

Ello pudiera reflejar la presencia de células convectivas intercaladas o procesos repetitivos, bien advectivos, bien modulados "in situ".

En los pluviógrafos afectados por la anomalía R_1 aparece la clase E.

El sistema R, excepto en su inicio, (pluviógrafos 15, 07 y 26) muestra la clase Z en pocas trazas. La observación realizada en el caso A de que en los periodos finales, según pasa la perturbación, las trazas son del tipo Z, no se verifica en el caso presente.

En conjunto el sistema R tiene una com-

posición que refleja actividad moderada y posiblemente posee potencial de siembra, en bastantes puntos y momentos.

Sistema N

Se observa en él un gran número de clases Z y C y de sus subclases, lo que puede indicar que se trate de un sistema "viejo" con concentraciones elevadas de cristales de hielo (glaciado).

Un recuento para los casos A y B por separado, del número de trazas en las clases A, E y B, resulta en una equipartición. Teniendo en cuenta que tanto el caso A como el B (sistema R) representan con toda probabilidad distribuciones asociadas a frentes fríos moderadamente activos, esto es, a situaciones meteorológicas semejantes, la semejanza de estructura deducida de la aplicación del análisis "CLAMOR" es animadora, pero no se puede descartar que sea pura y simplemente una coincidencia.

V.— Comentarios finales

No es el propósito de este artículo el analizar en profundidad una situación meteorológica, aún tratándose de una de indudable interés como la del caso presente. Creo, sin embargo, que no quedaría completo el presente trabajo si no intentase proponer, al menos hasta cierto punto, alguna hipótesis sobre cómo se originaron los sistemas de precipitación observados. Esto es, intentar asociarlos a algún tipo de estructura y evolución sinópticas.

El problema se puede concretar preguntándose si los datos disponibles, que son fácilmente accesibles, permiten "explicar", y por tanto en situaciones similares, predecir, la formación y posterior comportamiento de dichos sistemas lluviosos.

Del análisis cronológico de las lluvias caídas durante los días 9 y 10 de abril de

1981, he deducido la presencia de tres sistemas lluviosos principales (Fig. 45) el Q, el R y el N, además del sistema múltiple S.

Según el análisis cronológico, dichos sistemas pasaron por las proximidades de Villanueva ocasionando precipitaciones a las horas indicadas en esta tabla:

- a) Sistema Q: el día 09 de 1000TMG a 1600TMG
- b) Sistema R: el día 10 de 0000TMG a 0500TMG
- c) Sistema N: el día 10 de 1500TMG a 2200TMG

¿Qué otros análisis pueden confirmar esta cronología?. Para facilitar la comparación de posiciones y relaciones entre las configuraciones de las isohipsas según aparecen en el Boletín Meteorológico Diario y la distribución de las masas nubosas vistas por el satélite, se han transcrito las imágenes satelitarias disponibles sobre mapas de la misma escala y proyección que el Boletín Meteorológico Diario (Figs. 49 y 50).

De esta comparación es posible deducir que los sistemas Q y N pueden corresponder con la masa C₀ (Fig. 49(a)) y la masa H (Fig. 50(d)). Sin embargo no es obvio como se pu-

diera haber deducido de las imágenes satelitarias la ocurrencia del periodo R.

Al acontecer el sistema R durante la noche, la información radárica que lo podría corroborar no existe. Las figuras 30 y 31 de ecos radáricos pueden interpretarse asociando los que allí aparecen, como pertenecientes al

sistema Q, mientras los que lo hacen en las figuras 33 y 34 pertenecen al sistema N.

Los sondeos aerológicos, como dije en el apartado correspondiente, sugieren la llegada de una perturbación hacia las 1500Z del día 9 o sea, con toda probabilidad, el sistema Q (Figs. 23, 24 y 25). La interpretación en términos de frentes de las figuras 26, 27 y 28 es más dudosa y tan sólo el progresivo aumento de la humedad en los niveles altos de la atmósfera parece indicar la llegada de un sistema nuevo. En cualquier caso es razonable pensar que este cambio acompaña al sistema N.

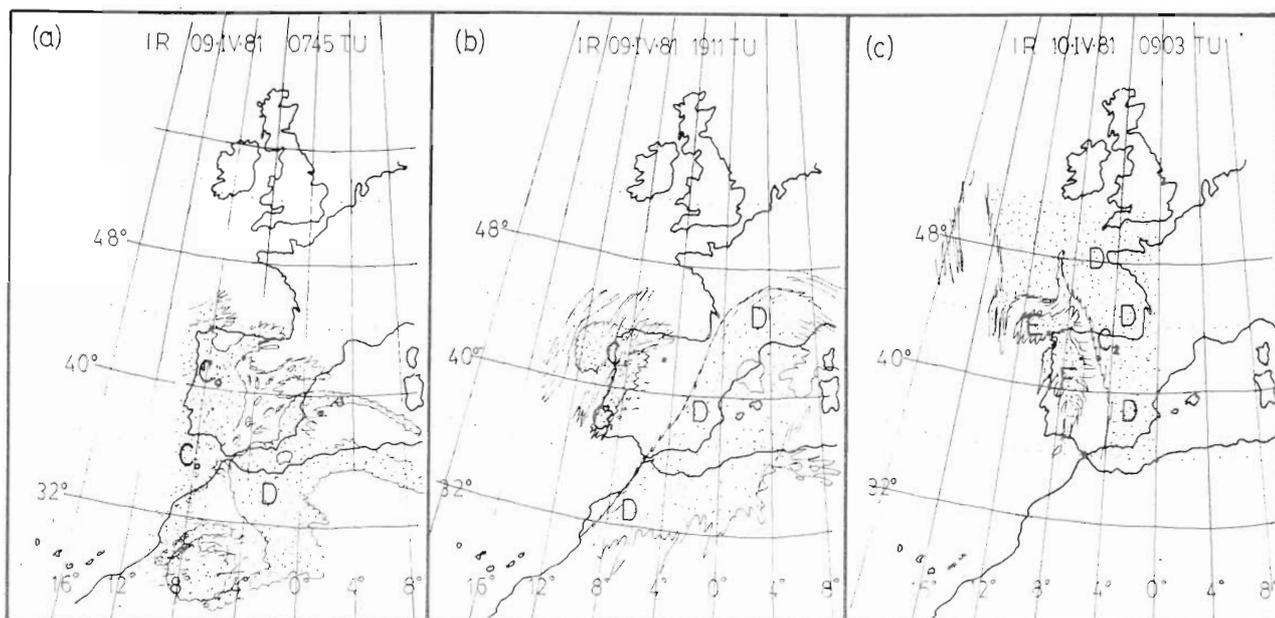


Fig. 49.- Representación esquemática en la misma proyección que la información sinóptica, de las imágenes satelitarias del tipo (IR o VIS) y a la hora indicada.

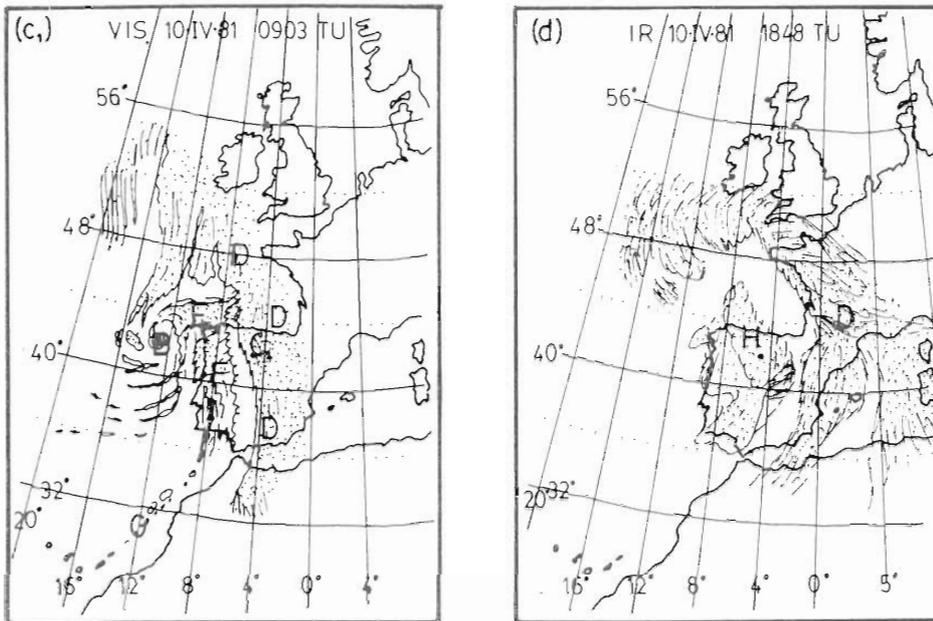


Fig. 50.- Representación esquemática en la misma proyección que la información sinóptica, de las imágenes satelitarias del tipo (IR o VIS) y a la hora indicada.

La estructura vertical y los cambios de velocidad y dirección del viento representados en el corte transversal, no son muy informativos, o al menos, no sé cómo interpretarlos. Las temperaturas han bajado considerablemente entre las 1300Z del día 9 a las 0800Z del día 10, así a 500 hPa desciende 3°C, a 700 hPa, 2°C a 900 hPa, 2,5°C. Esta observación puede indicar la llegada, entre el día 9 y el día 10, de una masa fría de gran espesor que es razonable asociar con el sistema R.

Las observaciones en superficie cada tres horas (Figs. 23 a 28), indican claramente el paso del sistema R al que acompañan vientos de 35 nudos. No hay indicios claros del paso por Villanubla, ni del sistema Q ni del N. Estas indicaciones concuerdan con la intensidad atribuida a cada uno de estos sistemas por los otros análisis.

Como es deseable que el conjunto de datos disponibles muestre el máximo grado de consistencia intentaré reconstruir la evolución, durante el periodo sin datos radáricos,

satelitarios o sinópticos (mapas), del sistema R, el más intenso de los tres, cuya justificación completa la secuencia de sistemas lluviosos detectados. También es útil el considerar si el concepto clásico de frente de la escuela noruega es aplicable a todos o algunos de dichos sistemas, ya que en la mayoría de los casos se recurre a este modelo para "explicar" la formación, y la evolución del campo de la precipitación.

El sistema Q no aparece reflejado en los mapas sinópticos del Boletín Meteorológico Diario (Figs. 19 y 21). De los mapas de superficie podría deducirse que sobre la cuenca del Duero existe una perturbación (vaguada) cuyo movimiento sería del sureste hacia el noroeste, lo que no concuerda con la dirección deducida del análisis cronológico que es el del suroeste hacia el noreste, que coincide con la dirección del viento a 700 hPa y 500 hPa. Por el contrario, los sistemas S sí coinciden con la dirección del viento a bajos niveles, lo que apunta hacia un origen advectivo (zona baroclínica frontal) del sistema y de las

lluvias que lo acompañan, mientras que a las lluvias del sistema Q cabe darles una interpretación dinámica, como pueda ser, tal vez, la presencia de una región de advección de vorticidad positiva asociada a un máximo en las isotacas (zona baroclínica del chorro).

El reconocer a tiempo esta posibilidad puede significar el lograr un acierto en la predicción.

El sistema R requiere una justificación más extensa. Para ello es necesario conocer la evolución de los máximos de velocidad asociados con las circulaciones ciclónicas, que son las más interesantes para el propósito de esta parte del trabajo.

Teniendo en cuenta las observaciones posteriores, la situación meteorológica durante las primeras horas de las 48 que dura el régimen de precipitaciones, precisa ser descrita postulando la presencia de ciertas configuraciones meteorológicas ya que de ellas no dispongo de información directa. Así admitiré, como plausible, que el 9 de abril y sobre el Atlántico y Africa occidental había tres

máximos de velocidad que indico, en la figura 50(I), por las letras V_1 , V_2 y V_3 .

El primero y el segundo podrían estar asociados, respectivamente, con las circulaciones ciclónicas B_0 y B_1 , que aparecen sugeridas en el Boletín Diario, por lo alargado de la configuración isobárica, aunque sólo una es analizada. El tercero lo asocio con la cuña anticiclónica A.

En el mapa de 300 mbar del Boletín Meteorológico Diario del 9 a las 1200Z (Fig. 53 (a)) aparece una corriente en chorro rodeando la cuña anticiclónica. La red de radiosondas no permite analizar más detalles, pero los extensos velos cirriformes que se aprecian en la imagen satelitaria de las 0745Z del día 10, formando dos masas separadas C_0 y D, (Fig. 49(a)) permiten intuir que la configuración propuesta, es correcta aunque, a falta de datos directos, debe considerarse como hipotética.

Esta configuración aparece tratada esquemáticamente en la figura 51(II) donde se asocia la nubosidad en forma de "coma" a regiones con advección de vorticidad positiva

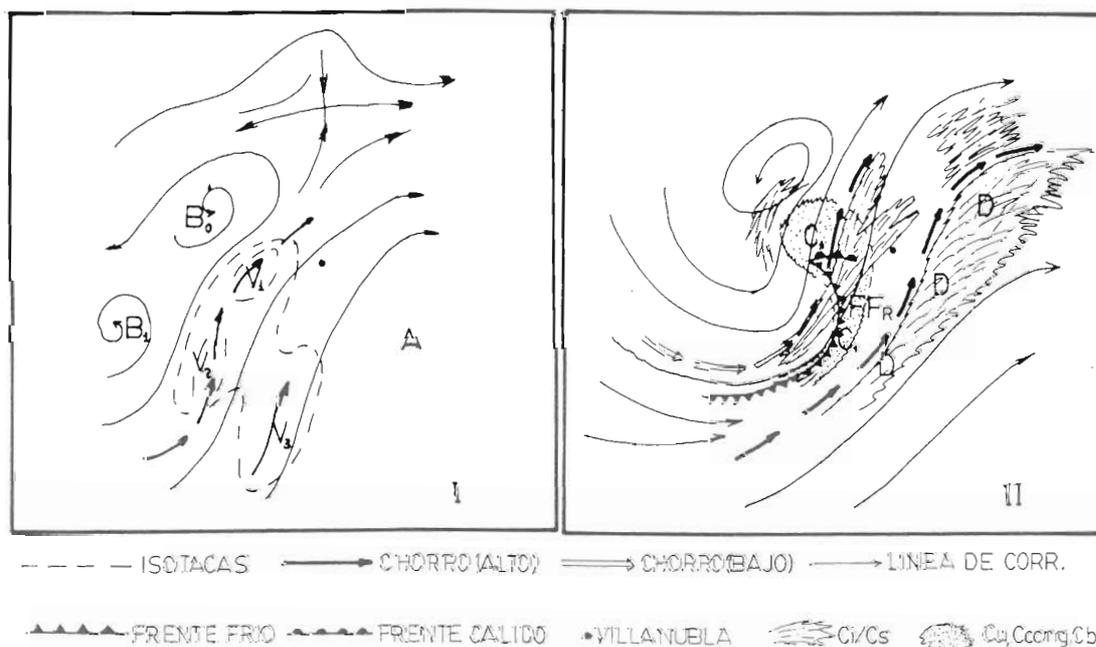


Fig. 51.- Esquema idealizado de como se desarrolla la situación atmosférica durante el día 9 de abril de 1981 de las 0600Z hasta las 1900Z.

(AVP), según un esquema bien conocido. En esta figura y la siguiente se intenta presentar un esquema, adaptado a la evolución observada en nuestro caso, de cómo se ven desde un satélite los sistemas nubosos que acompañan al tipo de ciclogénesis conocido como de masa de aire frío. A este respecto soy de la opinión que la formación de frentes en un contexto sinóptico y la situación aquí analizada es un buen ejemplo de ello, puede ser considerada como el resultado de una circulación inducida dinámicamente actuando interactivamente con cambios de temperatura debidos a la advección y a los movimientos verticales. Este mecanismo contrasta con el postulado usualmente, que se fundamenta en una yuxtaposición de masas de aire con características diferentes.

Un modelo de este mecanismo, a escala sinóptica, podría describirse como inducido ya que al moverse alrededor del extremo de una vaguada provoca un proceso de ciclogénesis, al desarrollar campos de divergencia relativa asociados con una advección de vorticidad positiva (AVP).

La advección de aire frío que ocurre en los niveles bajos desde el flanco oeste de la depresión que se está formando y la advección de aire cálido en el borde delantero de la depresión cooperan en aumentar el contraste de la zona baroclínica y hacer que se vuelva más vertical hasta que llega a hacer contacto con la superficie terrestre. Simultáneamente, la corriente en chorro se reforzará, pues la relación del viento térmico tiene que quedar satisfecha. En estas condiciones, tanto la ciclogénesis como la génesis de la superficie frontal se desarrollan simultáneamente y el frente debe ser detectable por medio de observaciones en superficie.

Por su posición, es el máximo, V_1 el que ocasiona el sistema Q sobre cuyo carácter frontal ya había dudas. Este núcleo, tal vez se disipa o queda absorbido dentro del V_3 .

El máximo V_2 evoluciona hacia un tipo de ciclogénesis muy especial, esto es, la transformación de una circulación ciclónica barotrópica en una baroclínica.

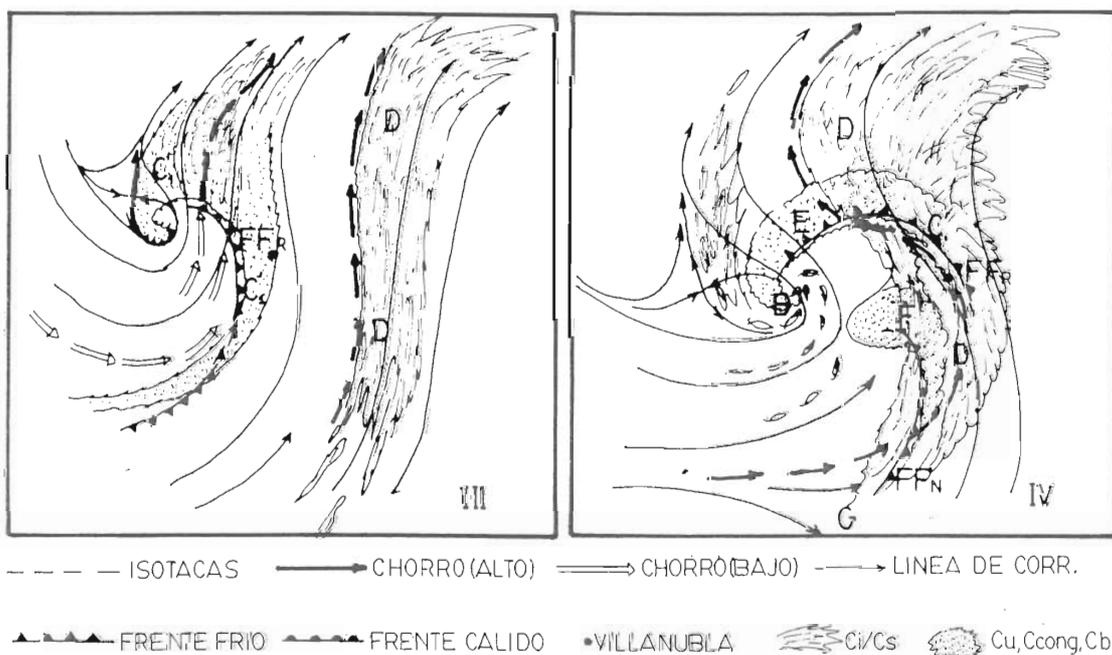


Fig. 52.- Esquema idealizado de como se desarrolla la situación atmosférica desde las 1900Z hasta las 0900Z del día 10 de abril de 1981.

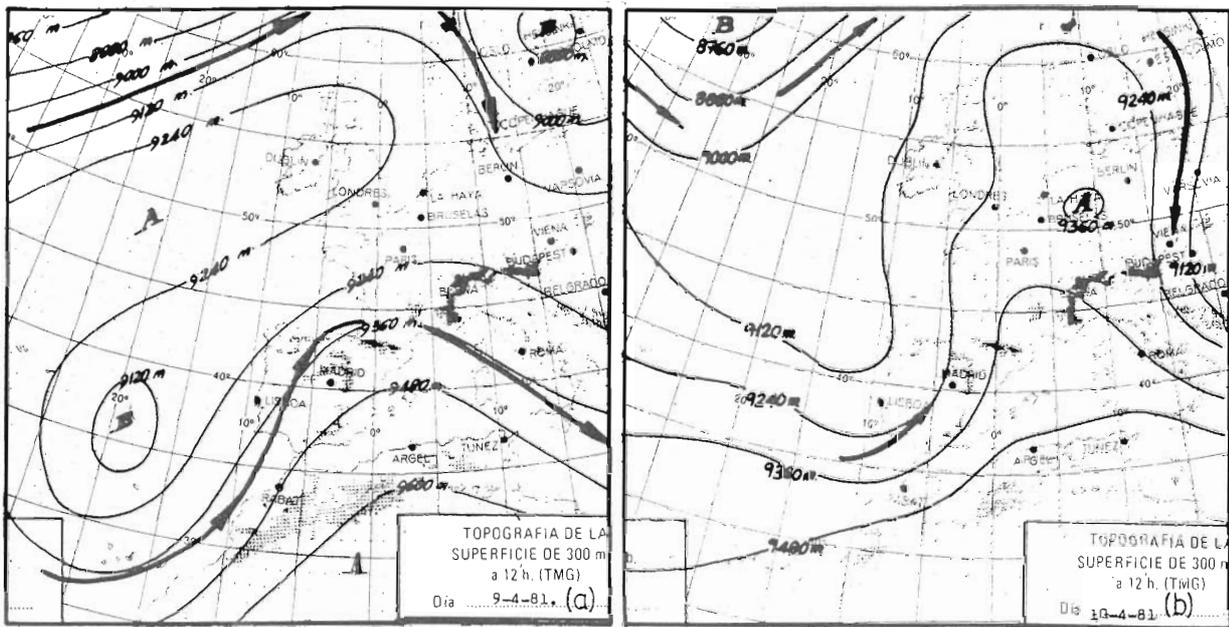


Fig. 53.- Topografía de la superficie de 300 mb (Boletín Diario) para el día y hora que se indica.

Es de cierto interés el llamar la atención sobre el diferente comportamiento de V_1 con respecto a V_2 . Mientras que el segundo se disipa, el primero se desarrolla efímera (24 horas) pero completamente. La presencia de una onda en los oestes de las latitudes altas moviéndose hacia el este puede haber influido decisivamente en esta divergencia de evoluciones.

En la figura 49(b) la configuración en coma asociada al máximo V_1 ha alcanzado su juventud y en las imágenes satelitarias se se observa un penacho de cirrus sobrepuesto a las nubes a niveles más bajos. Para un mejor entendimiento, en la figura 51(II) se presenta un esquema de la situación que incluye, así mismo, la evolución del máximo V_3 , y de la masa nubosa D que lo acompaña cuyo límite al norte y al oeste lo marca la corriente en chorro.

En la figura 49(c) la configuración en "coma" ha alcanzado su madurez. Lo que ocurrió entre las 1911Z del día 9 a las 0903Z del día 10 aparece esquematizado en la figura 52(III y IV) donde las letras FF_N indican el frente frío que ocasionó el sistema de precipitación R.

pitación R.

La presencia de una perturbación secundaria, quizás restos del máximo V_2 , la indica la masa nubosa con forma de "coma" F, a la que le asocio el frente frío FF_N que también está indicado en el mapa del Boletín Meteorológico Diario (Fig. 20(a) y (b) y que es el que ocasionó el sistema N.

En la topografía de 300 hPa (Fig. 53(b)) del Boletín Meteorológico Diario para el día 10, puede verse un máximo de viento sobre el sur de España, lo mismo que el esquema IV de la figura 52 y que fue deducido de la imagen satelitaria. Por el contrario, la prolongación del chorro hacia latitudes más altas no se refleja en el Boll. Met. Diario.

Teniendo en cuenta estas consideraciones resulta razonable decir que gracias a tomar en consideración los indicios suministrados por las imágenes satelitarias, junto con la aplicación de un modelo de ciclogénesis dentro de la masa fría, basado en estudios de imágenes satelitarias, pero no en análisis sinópticos clásicos, es posible "explicar" los sistemas de lluvia registrados en la cuenca del Duero por

la red ampliada de pluviógrafos del PIP, durante los días 9 y 10 de abril de 1981.

En este trabajo, la frecuencia con que ocurre la transformación de un centro ciclónico barotrópico en otro baroclínico no ha sido estudiada.

Es de destacar la rapidez con que la transformación se produce, ya que en unas 24 horas el centro nace, madura y envejece.

VI.— Conclusiones

El uso del análisis CLAMOR, por medio del cual es posible clasificar las formas de las trazas de los episodios individuales, ha permitido, aparentemente, demostrar en los dos casos estudiados que existen diferencias notables entre sistemas de lluvia, que tal vez no se hubieran podido detectar a partir de los totales de precipitación recogidos. La máxima utilidad del análisis CLAMOR pudiera ser en estudios "post mortem", relacionados con experimentos u operaciones de siembra de nubes, análisis de situaciones especiales (case studies) y en general actividades de investigación, pues el análisis "CLAMOR" de las trazas resulta laborioso en su aplicación rutinaria.

Quizás el resultado más interesante obtenido, aunque después del análisis de las observaciones realizadas por el avión Queen Air durante las campañas del PIP no resulta sorprendente, es la variabilidad dentro de un mismo sistema lluvioso de las formas de las trazas, tanto en los aspectos espaciales como en los cronológicos. Pluviógrafos muy próximos, separados pocos kilómetros, muestran trazas muy diferentes. Así mismo la estructura global de un sistema cambia según progresa en su paso a través de la cuenca del Duero.

Esta variabilidad tiene implicaciones notables con respecto a cualquier programa de intensificación de la precipitación, tanto en sus aspectos operativos como en los de diseño del experimento para su ulterior análisis

estadístico.

También se detectaron regularidades que permiten algunas generalizaciones como las siguientes:

- 1º Hay sistemas "viejos", donde predominan los periodos con trazas de clase C y Z. Quizás estas nubes son muy eficientes, debido a una gran concentración de cristales presente en ellas, lo que las permite incorporar y precipitar toda el agua condensada en el ascenso.
- 2º Hay sistemas "activos", donde predominan los periodos con la clase E, que aparecen en el centro de los periodos largos, pero al inicio, o en solitario, en periodos que ocurren en las regiones montañosas. Sobre estas últimas, la clase B también es frecuente.
- 3º La clase S, de la que en el inicio de este trabajo se indica que la nube asociada pudiera tener potencial de siembra, ocurre preferentemente en la parte central de la cuenca del Duero. Tal vez movimientos descendentes (o con velocidades ascendientes menores con respecto al resto) inducidos por la topografía y que afectan al aire que rodea la nube (por ejemplo, calentamiento por subsidencia) hacen que disminuya la eficiencia de conversión de vapor de agua (proceso Bergeron-Findeisen-Wegener).

Dicha eficiencia podría incrementarse introduciendo sustancias cuya actividad glaciógena sea efectiva a temperaturas más altas que las naturales.

La posibilidad de realizar estas consideraciones inspira cierta confianza respecto a la clasificación CLAMOR en lo que respecta a haber dejado sin incluir en ella alguna forma importante. Así mismo, resultados obtenidos en este trabajo con el análisis CLAMOR, justifican su utilidad y es posible que se pudieran generalizar y aplicar a la estructura de otros sistemas lluviosos, semejantes a los estudiados pero por el momento no parece prudente ha-

cerlo debido a la pequeña muestra disponible.

El estudio de la cronología de los episodios lluviosos también ha sido útil para detectar el paso de sistemas lluviosos, su movimiento y ciertas anomalías en alguno de ellos, lo que no habría sido posible si se hubieran empleado los análisis usuales, de menor discriminación espacial y cronológica.

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias a la Sra. Dña. Asunción Castañs Monteagudo y a la Srta. Dña. María Antonia Pallarés por su inestimable cooperación, tanto en la elaboración de los datos como en la mecanografía del manuscrito.

APENDICE

LISTA DE ESTACIONES

01	Avila
02	Burgos
03	Soria
04	Palencia
05	Valladolid
06	Zamora
07	León
08	Matacán
09	Villafría
10	Muñovela
11	Camporredondo
12	Linares del Arroyo
13	Villasur de Herreros
14	Cuerda del Pozo
15	Granja de la Moreruela

16	Olmedo
17	Quintana del Puente
18	La Santa Espina
19	Valbuena del Duero
20	Villalba de los Alcores
21	Villamayor de los Montes
22	Villanubla
23	Aguilar
24	Cervera
25	Compuerto
26	Porma
27	Requejada
28	Santa Teresa
29	Retuerta
30	Castronuño
31	No hay
32	Milagro de Mirueña
33	Carrión
34	Melgar
35	Villanubla (radar)
36	Barrios de Luna
37	Segovia

INDICE

	RESUMEN
I	Conceptos básicos
II	Clasificación morfológica
III	Consecuencias
IV	Aplicación del análisis CLAMOR a dos periodos con precipitación en la cuenca del Duero. i) Caso A. ii) Caso B.
V	Consideraciones finales
VI	Conclusiones
	AGRADECIMIENTOS
	APENDICE