

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS DESCARGAS NUBE-TIERRA EN LAS CÉLULAS TORMENTOSAS

José Miguel Gutiérrez Núñez
Francisco Pérez Puebla

(Servicio de Teledetección, -INM-)

RESUMEN

Se trata de aplicar los datos suministrados por la red de rayos del INM a la identificación, seguimiento y estudio de células tormentosas. Como base del estudio se consideró un período de dos días de fuerte actividad eléctrica. Las células se clasificaron en tres grupos atendiendo a la distribución espacio-temporal de sus rayos. Para los rayos positivos y negativos de cada célula, se analizó la evolución temporal de ciertos parámetros como intensidad, número de strokes, ritmo de actividad y centro geométrico. Se destacan las características propias de cada grupo, así como aquellas comunes a todos ellos.

1. Introducción.

Este trabajo constituye un primer intento de servimos de los datos aportados por la red de rayos del INM para la identificación, seguimiento y estudio de células tormentosas. Los objetivos perseguidos son, por una parte, dar a conocer las posibilidades de la red, así como ciertos aspectos referentes al funcionamiento de la misma, y por otra, extraer información acerca del comportamiento, estructura y características eléctricas de los sistemas tormentosos.

Los datos utilizados en el estudio fueron obtenidos de los informes de localización de rayos suministrados por el concentrador (APA) de la red. Dichos informes se refieren únicamente a rayos nube-tierra, no considerando, por tanto, descargas intranube o entre distintas nubes.

La red de rayos del INM dispone de 14 detectores de alta ganancia con un alcance nominal de 370 km, es decir, cada uno de ellos detecta el 90% de los rayos que se producen dentro de ese radio. Cuando cae un rayo los sensores que lo detectan envían al concentrador de la red (APA) un mensaje con la siguiente información: tiempo, dirección de procedencia de la señal, intensidad con que detectó la primera subdescarga (o *stroke*) tomada siempre en el pico de corriente, polaridad y número de *strokes*. El APA agrupa aquellos mensajes que se refieren a una misma ventana temporal y pasa a determinar la localización del rayo, para lo cual puede utilizar distintos métodos.

Si sólo dos sensores detectan el rayo se utiliza el método de "triangulación", que asigna la localización del rayo al punto de intersección de

las dos direcciones en las que fue detectada la señal desde cada sensor.

Si el rayo ha sido detectado únicamente por dos sensores, y la dirección de procedencia de la señal en cada uno de ellos está próxima a la línea que une ambos detectores (línea base), no se utiliza el método de triangulación, pues el error cometido podría ser considerable; en su lugar se utiliza el método "baseline" que asigna la localización del rayo a un punto de la línea base. Dicho punto se determina teniendo en cuenta la intensidad con que cada sensor detectó el rayo. Aún así, este método está sujeto a un grado de error mayor que otros métodos.

Cuando el rayo ha sido detectado por más de dos sensores, el APA hace uso del método de "optimización", que consiste en intersectar dos a dos las direcciones indicadas por los detectores y encontrar a partir de esos puntos, mediante mínimos cuadrados, el lugar más idóneo. Este método es el que comete un menor error al determinar la localización del rayo.

Una vez que el APA ha determinado la posición de un rayo, elabora un informe de localización con la siguiente información:

- Tiempo, con una precisión de milisegundos
- Latitud
- Longitud
- Intensidad normalizada en kiloamperios
- Polaridad
- Número de strokes
- Método utilizado para la localización
- Parámetros relativos al error, sólo para el caso de la optimización

La intensidad normalizada se refiere al pico de corriente en el primer stroke (esto ocurre a unos 100 metros de altura sobre el suelo), viene expresada en kiloamperios y se calcula a partir de las intensidades detectadas en los sensores, aplicando el modelo de transmisión lineal.

2. Descripción del método de trabajo.

La situación de tormentas tomada como base corresponde a los días 25, 26 y primeras horas del 27 de septiembre de 1992. La actividad tormentosa se inició en la tarde del día 25 sobre el centro de la Península en forma de células aisladas que fueron, en algunos casos, interac-

tuando. Durante la mañana del 26 la mayor actividad se trasladó a la parte oriental de la Península, dando lugar en Cataluña a la formación de un complejo convectivo que posteriormente, durante la tarde y noche siguientes, fue desplazándose hacia el sur de Francia y Golfo de León.

Concretamente, el período examinado comienza a las 12:00Z del día 25 de septiembre y finaliza a las 6:00Z del día 27.

El número de rayos identificados en ese período fue de 23.904. De ellos, 2.227 (el 9,3%) fueron localizados por el método de línea base (o baseline), por lo que fueron descartados para evitar errores. También fueron descartados aquellos que se encontraban excesivamente alejados y por lo tanto estaban afectados de un mayor error en la localización.

Los rayos seleccionados fueron introducidos en una base de datos y a partir de ella se extrajeron gráficos del tipo latitud/longitud, como el que muestra la Figura 1, donde se representaban, para cada período, de media hora, las localizaciones de los rayos caídos. De esta forma se facilitaba la identificación y seguimiento de las células tormentosas.

Entre las células observadas se apreciaban notables diferencias en el tamaño, actividad y duración de cada una. Algunas tenían una vida independiente mientras otras interactuaban entre sí resultando muy complejo su seguimiento, debido a lo cual, se intentó clasificar las células en tres grandes grupos.

Se seleccionaron varias células para su estudio en detalle, creándose una base de datos independiente para cada una de ellas. Luego se analizó su evolución temporal siguiendo los valores que iban tomando ciertos parámetros como el ritmo de actividad eléctrica (número de rayos por unidad de tiempo), intensidad media, número de strokes medio, centro geométrico de los rayos y porcentaje de positivos sobre el total para intervalos de tiempo, normalmente, de 10 en 10 minutos. El ritmo de actividad, intensidad, número de strokes y centro geométrico de los rayos fue considerado, además, para los rayos positivos y negativos por separado. A partir de estos datos se elaboraron los gráficos correspondientes, lo cual permitía comparar el comportamiento de las distintas células y poner de manifiesto tanto las características propias de cada grupo, como aquellas otras que podrían considerarse comunes a todas ellas.

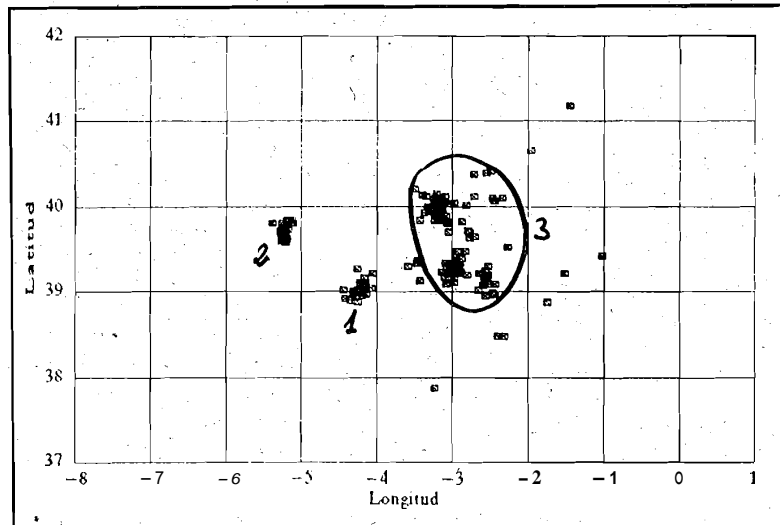


Figura 1.- Rayos producidos entre las 22:00 y las 22:30Z del 25 de septiembre

3. Clasificación de las células.

Se distinguieron tres grupos de células atendiendo a su tamaño, actividad eléctrica, duración y sobre todo a su grado de interacción con otras células:

- **CÉLULAS AISLADAS.** Consideraremos como tales aquellas formaciones tormentosas autónomas, de extensión pequeña o mediana y de baja o media actividad, cuyos rayos permanecen agrupados a lo largo de su período de actividad en un único núcleo, quedando suficientemente alejados de los de otras células próximas para evitar influencias y no presentando períodos prolongados de inactividad (no más de media hora).

- **CÉLULAS INTERACTIVAS.** Puede aplicarse a agrupaciones celulares que manifiestan una mutua interacción entre sí, de modo que el estado de desarrollo de una de ellas llega a afectar al de las otras y viceversa, o también referirse a dos o más células que se funden en una o a una que se subdivide. Son frecuentes en estas agrupaciones la creación de nuevas células en su seno o la desaparición de alguna de las ya existentes, así como las fusiones o particiones de células. A pesar de los cambios que experimentan las células individuales que componen el grupo, éste mantiene una cierta unidad a lo largo de su vida.

- **COMPLEJOS TORMENTOSOS.** Denominamos así a aquellas células de gran extensión (más de 100 km de longitud), que manifiestan una gran actividad eléctrica y que permanecen activas

durante un gran período de tiempo. El complejo aquí estudiado se desarrolló a partir de la fusión de tres células independientes originadas entre una y dos horas antes. Normalmente, una vez formadas, suelen presentar un núcleo central muy activo alrededor del cual gravitan otras células más pequeñas que interactúan entre sí, y con el núcleo principal.

En ocasiones resulta difícil encuadrar una célula en alguno de estos tres grupos, pues suelen tener en algún momento de su vida características propias de otro grupo.

El complejo analizado, fue considerado como una unidad a pesar de que en su seno, en ocasiones, se desarrollaran algunas células aisladas y otras interactivas; sin embargo, se consideró que todas ellas formaban parte de un conjunto único, pues la proximidad existente entre ellas y el núcleo principal hacía pensar en una mutua relación de dependencia.

4. Descripción y análisis de las células seleccionadas.

En total se analizaron diez células, seis del primer grupo, tres del segundo y una del tercero. En la Figura 1 se muestra la actividad, durante un intervalo de media hora, de tres de las células que se describen a continuación, de izquierda a derecha aparecen las células aisladas 2 y 1 y la agrupación o célula interactiva 3, esta última dentro de un círculo.

4.1. Células aisladas.

Dentro de este grupo se identificaron seis tormentas, de las cuales tres eran pequeñas (su máxima longitud no alcanzaba los 50 km), con menos de 100 rayos y una duración en torno a dos horas.

En las otras tres el número de rayos osciló entre 200 y 500, su extensión máxima se acercaba a los 100 km en algún caso y su duración superaba las tres horas. En las tres células pequeñas antes mencionadas, prácticamente no se registraron rayos positivos, sólo una de ellas, la mayor de las tres, llegó a dejar uno. Sin embargo en las otras tres el porcentaje de positivos fue más elevado, entre el 2% y el 8%, tanto mayor cuanto mayor era el número de rayos de la célula. Por otra parte, se observó que los rayos positivos se daban normalmente en la segunda mitad de la vida de la célula y buena parte de ellos en la fase final.

La célula 1, la mayor de este grupo, se desarrolló en las proximidades del Guadalquivir, concretamente cerca de la localidad de Écija, alrededor de las 18:00Z del día 25 de septiembre. Se trata de una célula viajera y de muy larga vida, ya que sus últimas descargas tuvieron lugar en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama después de la 1:30Z del día 26. Su número de rayos fue de 475, de los cuales 34 fueron positivos, un 8% del total.

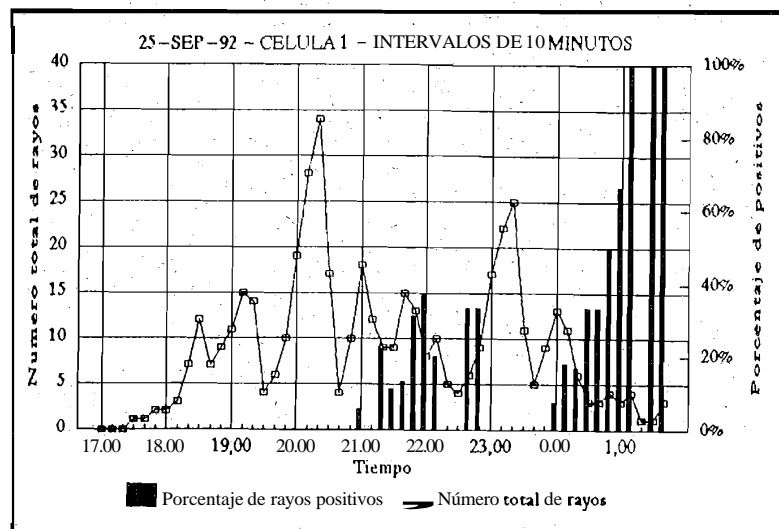
En la Figura 2 se aprecia la existencia de varios máximos de actividad, de los cuales destacan dos, principalmente, pudiendo atribuirse el

segundo gran máximo a la formación de una nueva célula cuando ya la antigua se encontraba en su fase de disipación, sin que por eso dejaran los rayos de permanecer agrupados en solo núcleo. También se observa en la figura que los rayos positivos tienen lugar, preferentemente, en la segunda mitad de vida de la célula y que su porcentaje respecto al total aumenta considerablemente al final de la vida de la célula.

En la Figura 3 se representa la trayectoria seguida por el centro geométrico de los rayos de la célula. Estos gráficos son útiles para determinar en qué medida los accidentes del terreno influyen en la trayectoria y fase de desarrollo de la tormenta.

La intensidad media de los rayos positivos en la célula 1 es de 56,7 kiloamperios, siendo en los negativos de -32,8. Respecto al número de *strokes* por rayo, la media para los positivos es de 1,2, mientras que los negativos alcanzan 2,0 *strokes* de media. La evolución temporal de la intensidad y del número de *strokes* a lo largo de la vida de la célula, no presenta nada reseñable por lo que no se incluyen los correspondientes gráficos.

La célula 2, intermedia entre las tres pequeñas y las dos más grandes dentro del grupo en que nos encontramos. Se inició en los alrededores del Tajo, en la parte oriental de Extremadura, a las 21:30Z del día 25, y fue desplazándose lentamente hacia el Norte hasta las proximidades de Gredos, donde finalizó en torno a la una de la madrugada del día 26. Su número total de rayos fue de 246 de los que 5 fueron positivos, un 2% del total.



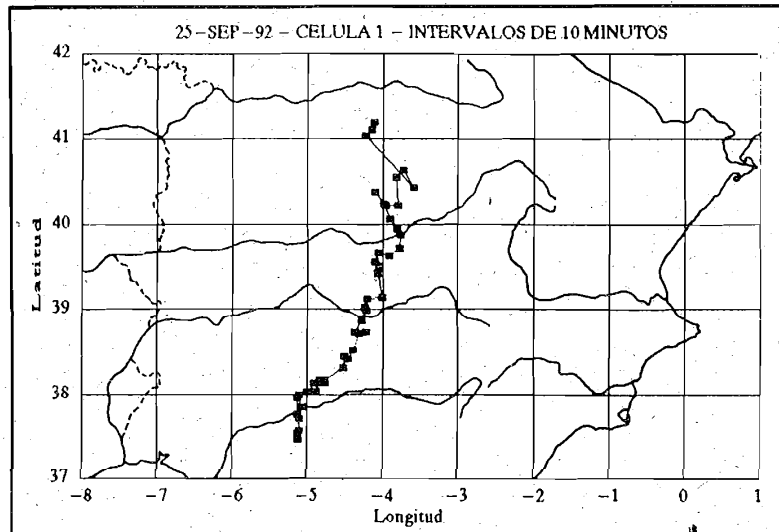


Figura 3.- Trayectoria seguida por el centro geométrico de los rayos de la célula 1

En la Figura 4 se observa que posee un máximo principal de actividad en la mitad de su vida, lo cual también se aprecia en las tres células pequeñas que forman parte de este mismo grupo. Vemos también que los positivos tienen lugar en la segunda parte de la vida de la célula. Respecto a la intensidad y número de *strokes* se comporta como la célula 1 (positivos: intensidad 75,2 kA, *strokes* 1; negativos: intensidad 28,4 kA, *strokes* 2,3).

tormenta fue de corta duración y su actividad eléctrica baja, únicamente se detectó un rayo positivo del total de 145 rayos. En los otros dos casos analizados se trata de tormentas que comenzaron su actividad en torno a dos núcleos distintos, observándose que tras la mezcla el ritmo de descargas parece incrementarse al tiempo que su radio de acción también aumenta. El porcentaje de positivos en estos dos casos es superior al 5% del total de rayos. A continuación describimos con más detalle una de estas agrupaciones.

4.2. Células interactivas.

Dentro de este grupo se han identificado tres casos. Uno de ellos consistía en dos pequeños núcleos muy próximos que se fundieron, la

La célula (o conjunto de células) 3 se inicia con la aparición de dos células separadas casi 100 km, la primera de ellas se formó en las proximidades de la Sierra de Cazorla poco antes de las

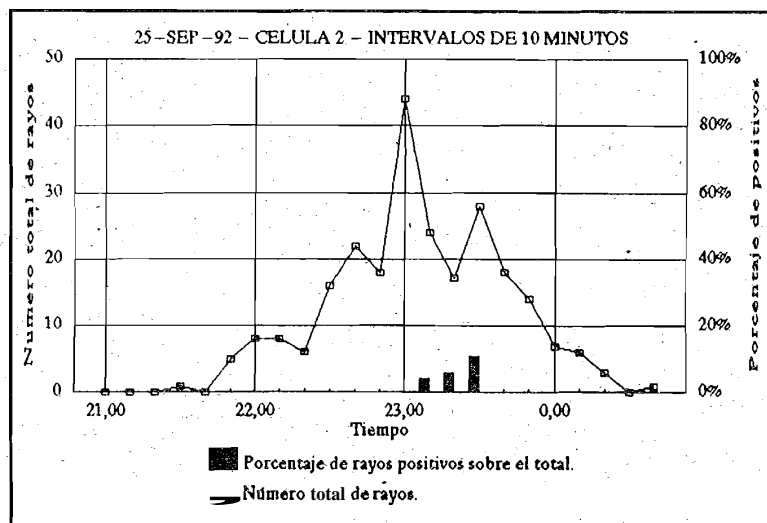


Figura 4.- Número total de rayos y porcentaje de positivos sobre el total

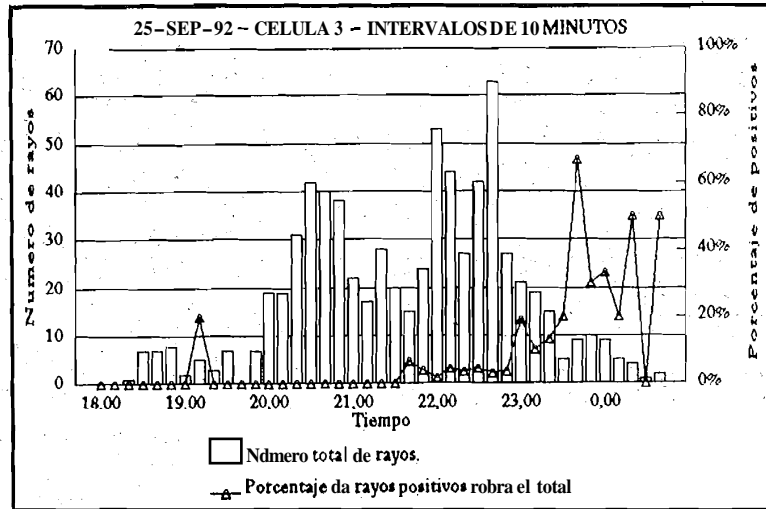


Figura 5.- Número total de rayos y porcentaje de positivos sobre el total

18:30 del día 25 y la segunda media hora más tarde entre las localidades manchegas de Valdepeñas y Tomelloso. Ambas tormentas se fueron desplazando hacia el Norte al tiempo que se iban haciendo más extensas. Cada una de ellas por separado fue disgregándose en dos a más mientras que su actividad aumentaba y la distancia entre ellas se iba acortando. A unas tres horas del comienzo, se mezclaron en un conjunto o racimo de células sobre La Mancha. Finalmente, desaparece alrededor de la 1:00Z, entre los cursos altos del Guadiela y el Tajo. Su número total de rayos fue de 718, de ellos 37 positivos (5,2% sobre el total).

picos más intensos -al período comprendido entre las 22:00 y las 23:00Z, una vez producida la mezcla. También se aprecia claramente que los rayos positivos tienen lugar en la segunda mitad de la vida de la célula y, especialmente, en su fase final. Respecto a la intensidad y el número de strokes, en los gráficos se observan las mismas características que en el resto de las células (positivos: intensidad 65,7 kA, strokes 1,2; negativos: intensidad -29,6 kA, strokes 2,0).

4.3. Complejos tormentosos.

En la Figura 5 observamos varios máximos principales de actividad, correspondiendo los dos

Dentro del período estudiado, se detectó una gran formación tormentosa que ha sido inclui-

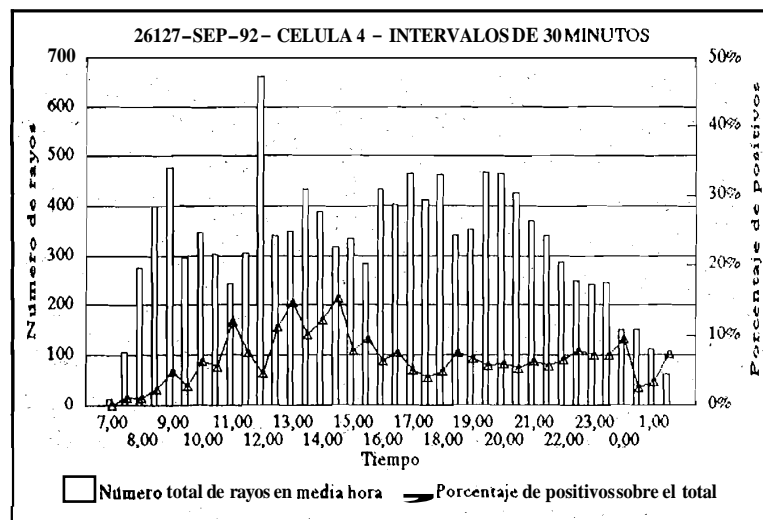


Figura 6.- Número total de rayos y porcentaje de positivos sobre el total

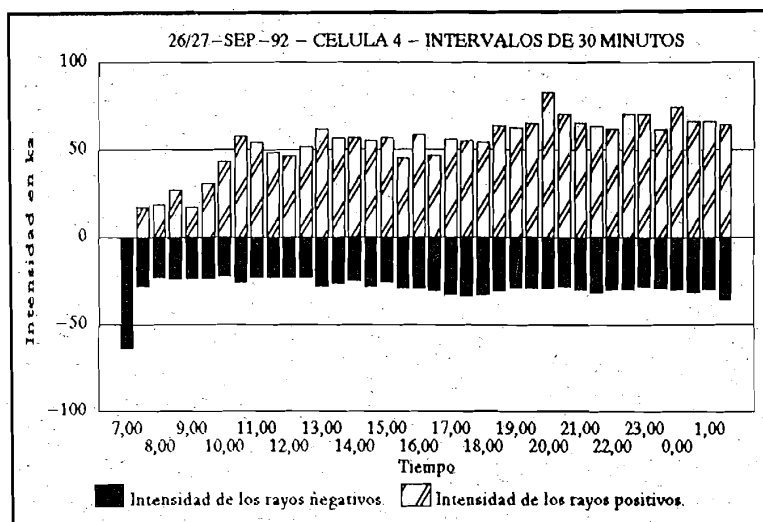


Figura 7.- Evolución temporal de la intensidad para rayos positivos y negativos por separado

da dentro de este grupo. La célula 4 inició su actividad eléctrica poco después de las 7:00Z, en tres núcleos distintos, el primero en aparecer se formó en la parte norte de la provincia de Castellón próximo al límite con Tarragona, el segundo lo hizo sobre el mar a unos 15/20 km al SE del delta del Ebro y el último surgió cerca de Valencia capital. Entre una y dos horas más tarde las tres células iniciales crecieron y fueron fundiéndose, constituyendo a partir de entonces unas veces un gran núcleo y otras un racimo de células pequeñas en torno a otra más compacta. La máxima actividad de descargas se alcanza poco después de las 12:00Z, en que se registran más de 250 rayos en 10 minutos, siendo la zona más castigada el SE de la provincia de Lérida. El complejo continuó su avance hacia el NE, atravesando los Pirineos por la parte occidental de la provincia de Gerona. Finalmente, ya en el sur de Francia, fue perdiendo actividad hasta extinguirse alrededor de las 2:00Z del día 27. El número total de rayos registrados fue de 13.221, de los cuales 912 (un 6,9%) fueron positivos. Entre las precipitaciones registradas este día destacan Tortosa con 104 mm y Lérida con 84 mm.

En la Figura 6 se observa un máximo principal de actividad entre 12:00 y 12:30 y varios secundarios, empezando a perder fuerza paulatinamente a partir de las 21:00Z. El porcentaje de positivos no se comporta como en las células de los otros dos grupos, pues no se observa que éste sea mayor en la parte final.

Respecto a la intensidad, en la Figura 7 se aprecia que los rayos positivos mantienen una

tendencia a ir incrementando ligeramente su intensidad a medida que transcurre el tiempo, mientras que en los negativos esto no llega a ser apreciable. Este resultado ya había sido puesto de manifiesto por Helloco (véase referencia al final de este artículo) en lo que denomina grandes células. La intensidad media para los positivos es de 56,5 kA y para los negativos -27,7 kA. En lo referente a los rayos de intensidad muy grande, aquellos cuyo valor absoluto supera los 200 kA, se registraron 9, de los cuales 6 fueron positivos, es decir el 67%, lo cual se aproxima a lo apuntado por Le Boulch (véase en Referencias) que para un período de dos años encontró un porcentaje del 80% positivos. El número de *strokes* se comporta como en las células ya descritas. Para los positivos su valor medio es de 1,1 y para los negativos de 2,3.

En la Figura 8 se aprecia claramente cómo los rayos positivos están desplazados hacia el Norte respecto a los negativos. Concretamente, el desplazamiento medio, calculado para intervalos de media hora, es de 49 km hacia el Norte y 15 km hacia el Oeste, es decir, 51 km en dirección NNW. En el período comprendido entre 17:00 y 23:00Z los positivos estuvieron desplazados respecto a los negativos unos 100 km hacia el Norte, llegándose entre 21:30 y 22:00Z, a superar los 120 km. El viento sur, en altura, que soplaba durante el desarrollo de este complejo, debió provocar un desplazamiento hacia el Norte de la parte superior de la masa nubosa, que es la que concentra principalmente la carga positiva. En ninguna de las otras células tratadas se observó un desplazamiento tan notable.

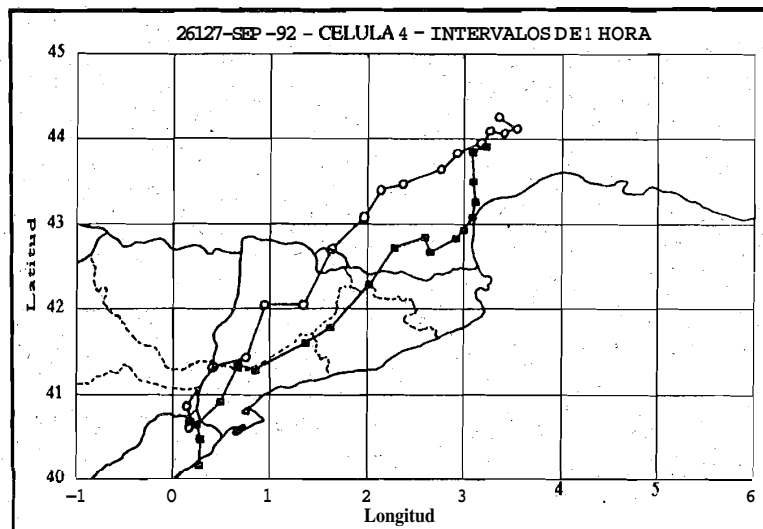


Figura 8.- Trayectorias seguidas por los centros geométricos de los rayos positivos y negativos por separado. Círculos blancos para los rayos positivos y cuadrados negros para los negativos.

Conclusiones.

Del análisis realizado a las 10 células identificadas en el período considerado, y sin ánimo de generalizar estos resultados al resto de los casos, extraemos las siguientes conclusiones:

- La intensidad de los rayos positivos es mayor que la de los negativos, aproximadamente el doble.
- El número de *strokes* de los rayos negativos es mayor que el de los positivos, aproximadamente el doble.
- Los rayos positivos en las células aisladas y en las interactivas aparecen preferentemente en la segunda mitad.
- En las células con pocos rayos el porcentaje de positivos es muy bajo o nulo.

- Es frecuente observar un desfase entre el ritmo de actividad de una célula y el porcentaje de positivos.

- En los complejos se observa una tendencia a aumentar la intensidad de los positivos con el tiempo.

- Los centros geométricos de los rayos positivos y negativos pueden llegar a distanciarse considerablemente, poniéndose este hecho de manifiesto más claramente en las formaciones tormentosas comprendidas en el tercer grupo.

Referencias.

Hellico, F.; Krider, E.P. *Spatial and temporal characteristics of lightning cells observed in France.*

Le Boulch, M.; Hamelin, J. *Observation of very large amplitude lightning flashes in France.*