

Climatología de descargas eléctricas nube-tierra en las Islas Baleares

José A. Guijarro y Miguel Ángel Heredia

Instituto Nacional de Meteorología, Centro Meteorológico en Illes Balears (pmd@inm.es)

(Recibido: 22-Dic-2004. Publicado: 27-Dic-2004)

Resumen

Se ha estudiado la distribución espacio-temporal de 591624 rayos detectados por la red del INM en un área rectangular de 84000 km² del Mediterráneo Occidental que incluye a las Islas Baleares. La mayor frecuencia de descargas se concentra en el mes de septiembre, seguido a distancia por agosto y octubre. Esto puede servir de indicación de que en esta época es cuando cabe esperar una mayor ocurrencia de los fenómenos más violentos asociados a la convección. Por horas, la mayor actividad eléctrica se observa durante la noche, y la menor, a media tarde. El análisis del número de días de tormenta reproduce las pautas temporales de la frecuencia de rayos, pero suavizando considerablemente las diferencias. En cuanto a la distribución espacial, los rayos presentan una mayor frecuencia en el norte y noroeste, mientras que las tormentas son más frecuentes en el nordeste.

Palabras clave: rayos, tormentas, Islas Baleares.

1. Introducción

Las redes de detección de rayos (descargas nube-tierra, descartando las que se producen entre nubes o en el seno de una misma nube) se han mostrado muy útiles tanto desde el punto de vista de la meteorología operativa (vigilancia y seguimiento de tormentas) como para aplicaciones de prevención de accidentes fatales en prácticas deportivas al aire libre, actuaciones rápidas en extinción de incendios forestales, etc.

Constan de unos detectores radiogoniométricos que son capaces de discriminar las señales electromagnéticas procedentes de este tipo de descargas atmosféricas, asignándoles datos precisos de localización azimutal (1°) y temporal (1 ms). Estos datos se envían en tiempo real a un concentrador que, analizando los datos que recibe de los diferentes sensores, realiza el proceso posterior de localización geográfica de los rayos mediante técnicas optimizadas de triangulación y análogas. Para más información, ver Holle *et al.* (1990) y Holle and López (1993).

En España, el Instituto Nacional de Meteorología desplegó una red de estas características en 1992. La eficiencia en la detección de los rayos es superior al 98 % (Pérez-Puebla *et al.*, 1999a).

Los primeros análisis climatológicos de los datos proporcionados por esta red fueron llevados a cabo por los citados Pérez-Puebla *et al.* (1999b) a nivel nacional, mientras que a escala regional tenemos los estudios de Aragón, La Rioja y Navarra (Álvarez Lamata, 2001) y Cataluña (Terradellas, 1999), ambos referidos a la época estival.

En las Islas Baleares, González Márquez (1996) realizó un estudio preliminar, con datos de dos años (de agosto de 1994 a septiembre de 1996), comprendiendo algo más de 28000 rayos. Con los años transcurridos desde entonces, la base de datos se ha ampliado considerablemente, permitiendo realizar una climatología más fiable de las características espacio-temporales de los rayos en Baleares, lo que constituye el objeto de este trabajo.

2. Metodología

En estos momentos se cuenta en nuestro Centro Meteorológico con datos de algo más de 10 años (desde agosto de 1994 hasta ahora, mediados de diciembre de 2004), pero no se trata de los datos directamente recogidos por el concentrador de la red de detección, ubicado en nuestros Servicios Centrales en Madrid, sino de los datos de rayos ingestados en el sistema McIDAS, utilizado por los Grupos de Predicción y Vigilancia de los Centros Meteorológicos Territoriales para sus tareas operativas.

En este sentido hay que tener en cuenta que el proceso de ingestión puede saturarse en el caso de tormentas especialmente intensas y generalizadas, pudiendo perder en esas ocasiones una parte significativa de los datos de descargas (del orden de un 20 % en casos extremos), que los sensores pueden estar fuera de servicio por problemas técnicos (alrededor de un 10 % del tiempo), y que a efectos de archivo hemos filtrado los rayos cuya localización geográfica venía aquejada de una mayor incertidumbre. Por tanto, los datos analizados en este trabajo nos darán una buena idea de la distribución espacio-temporal *relativa* de las descargas, mientras que los valores absolutos del número de rayos pueden ser de un 10 a un 20 % superiores.

Por otra parte, en los primeros años se guardaban los datos de rayos únicamente de las islas y zonas costeras, correspondientes a tres áreas rectangulares que comprendían a las islas de Menorca, Mallorca, y el conjunto de Ibiza y Formentera. Posteriormente se pasó a guardar los datos de todo el conjunto nacional, y para este trabajo se analizarán los datos de las descargas detectadas entre X=300 y 650 km e Y=4240 y 4480 km (coordenadas UTM referidas al huso 31). Comoquiera que este rectángulo de 84000 km² abarca un área considerablemente mayor que la de los primeros años de archivo, se ha optado por realizar el estudio climatológico únicamente sobre los 7 años del periodo 16-Dic-1997 a 15-Dic-2004 en que disponemos de datos en toda el área.

Los datos analizados corresponden así a un total de 591624 rayos, especificando la fecha y hora exacta de la descarga, su localización geográfica, su intensidad y polaridad, y el número de subdescargas de que consta cada rayo.

Los análisis y figuras que ilustran este trabajo se han realizado mediante el paquete estadístico R, en un PC con GNU-Linux.

3. Análisis de los datos

3.1. Distribución temporal de rayos y días de tormenta

La distribución mensual del promedio anual de rayos en toda el área estudiada presenta un máximo de 34714 en septiembre, que se destaca frente a los demás meses (fig. 1), ya que suponen un 41 % del total anual. Le siguen agosto, octubre y noviembre, siendo las frecuencias de los demás meses mucho menores. De hecho, los cuatro meses de mayor frecuencia (agosto a noviembre) acumulan casi el 80 % de todos los rayos.

Aunque el número de rayos estudiado es muy grande, podría suceder que este resultado estuviera sesgado por alguna tormenta especialmente violenta¹. El desglose del número de descargas por años individuales nos muestra que esta distribución responde a un hecho frecuente (aunque con una gran dispersión de valores), ya que septiembre es el mes que presenta más descargas en 5 de los 7 años estudiados (fig. 2).

Un 20,27 % de todos estos rayos fueron de signo positivo, aunque esta proporción varía de unos meses a otros, pues mientras el valor más alto es el de septiembre (25,8 %), el más bajo corresponde curiosamente al mes siguiente, octubre, con sólo un 9,9 % de rayos positivos (tabla 1). Las proporciones más altas las presentan los meses del trimestre estival (de julio a septiembre), con valores bastante similares, mientras que en el resto de los meses, con la excepción de febrero (por alto) y octubre (por bajo), los porcentajes se mantienen alrededor del 15 %.

¹ *severa*, como se suele traducir, tal vez demasiado literalmente, del inglés. Aquí se tratará de evitar este barbarismo

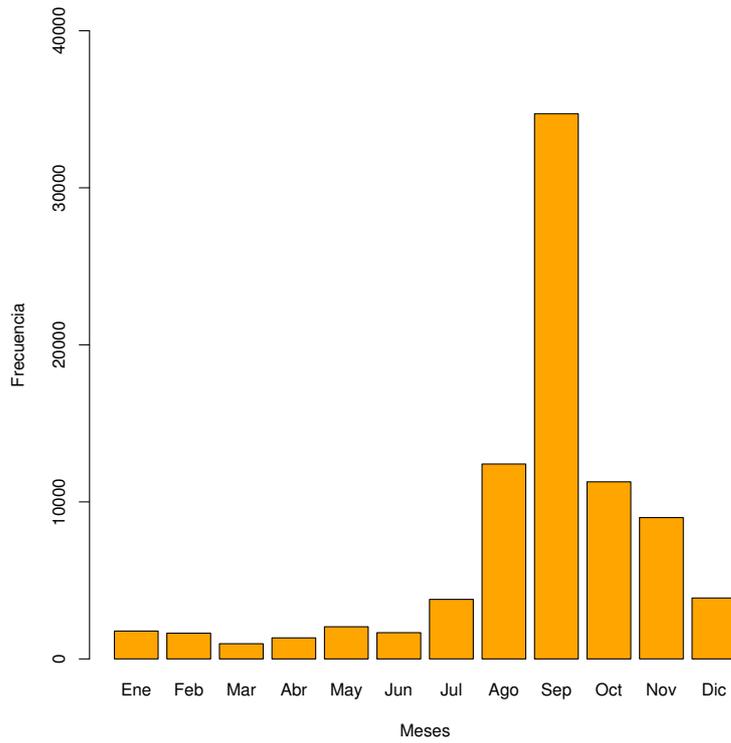


Fig. 1: Frecuencia media mensual de rayos en el área de estudio (84000 km²).

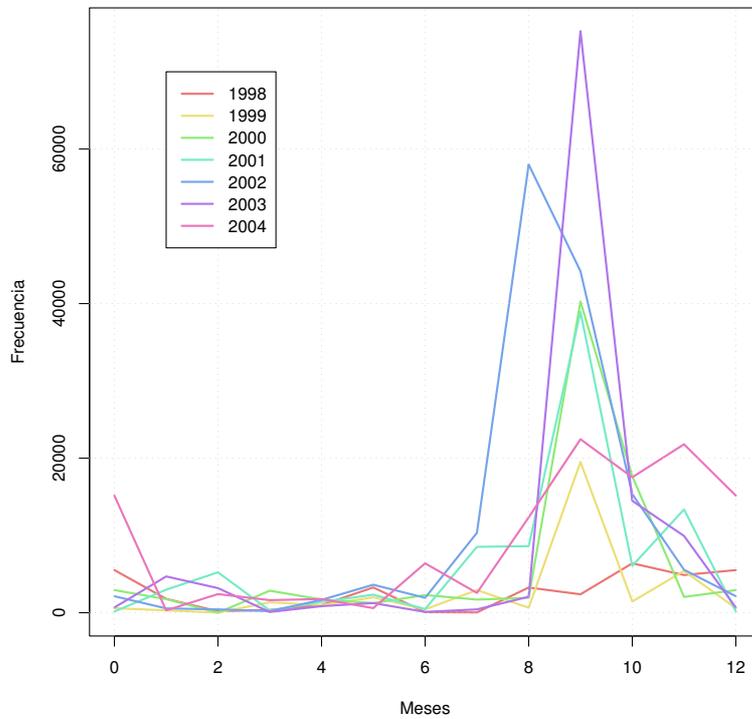


Fig. 2: Frecuencia mensual de rayos en el área de estudio durante 1998-2004. (La segunda quincena de diciembre de 2004, no disponible en el momento de realizar este trabajo, se ha suplido con la correspondiente quincena de diciembre de 1997).

Tabla 1: Porcentaje de rayos positivos.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
14,0	21,1	15,2	17,5	15,9	13,4	23,4	23,3	25,8	9,9	13,8	13,3	20,27

Si contabilizamos el número de días en que se ha detectado al menos un rayo en toda el área estudiada, se obtienen 144 días de tormenta al año (casi un 40 % de los días). Las frecuencias medias mensuales oscilan desde un mínimo de 7,4 días en marzo hasta un máximo de 17,3 días en noviembre, seguido éste muy de cerca por los 17,1 días de septiembre (fig. 3). Los siete primeros meses del año, exceptuando a mayo, tienen un menor número de días tormentosos que los demás, pero las diferencias son relativamente pequeñas en comparación con las de frecuencias de rayos, mucho más diferentes de unos meses a otros. Ello es debido al diferente número de rayos por día de tormenta, que alcanzan un promedio de 2030 en septiembre, 926 en agosto y 848 en octubre, mientras que de marzo a mayo no se alcanzan los 140 rayos por día. En la figura 4 se puede ver un diagrama de cajas del número de rayos por día de tormenta en el área, donde se observan estas grandes diferencias, así como los valores más altos obtenidos en días individuales, cuyo récord lo ostenta el 2-Sep-2003, en que se registraron 17180 rayos, seguido a corta distancia por el 9-Ago-2002, con 16005. El elevado número de datos *anómalos* que aparecen en esta figura es debido a que la distribución del número de rayos por día está muy lejos de la normalidad, ya que adopta una forma en L con una cola derecha muy extendida.

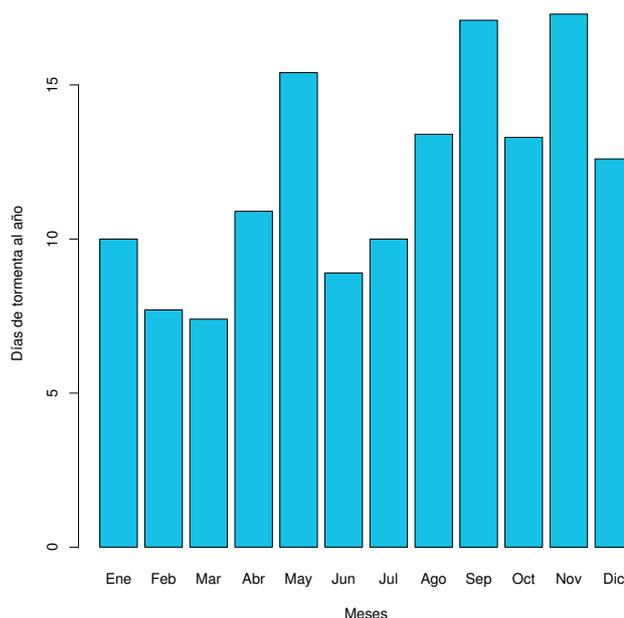


Fig. 3: Medias mensuales de número de días de tormenta en el área de estudio (1998-2004).

En cuanto a la distribución horaria, entre las 23 y las 04 horas UTC ² se tienen frecuencias anuales de cerca de 5000 rayos/hora, con un máximo de 5112 entre las 01 y las 02, descendiendo a unos 4000 rayos/hora entre las 04 y el mediodía (fig. 5). Por la tarde el número de rayos desciende con rapidez hasta alcanzar poco más de 1500 rayos/hora entre las 16 y las 19 (con un mínimo de 1514 rayos entre las 16 y las 17), y aumentar posteriormente hasta la medianoche.

²En la longitud geográfica de las Islas Baleares, alrededor de 3°E, la hora UTC se corresponde aproximadamente con la hora solar local.

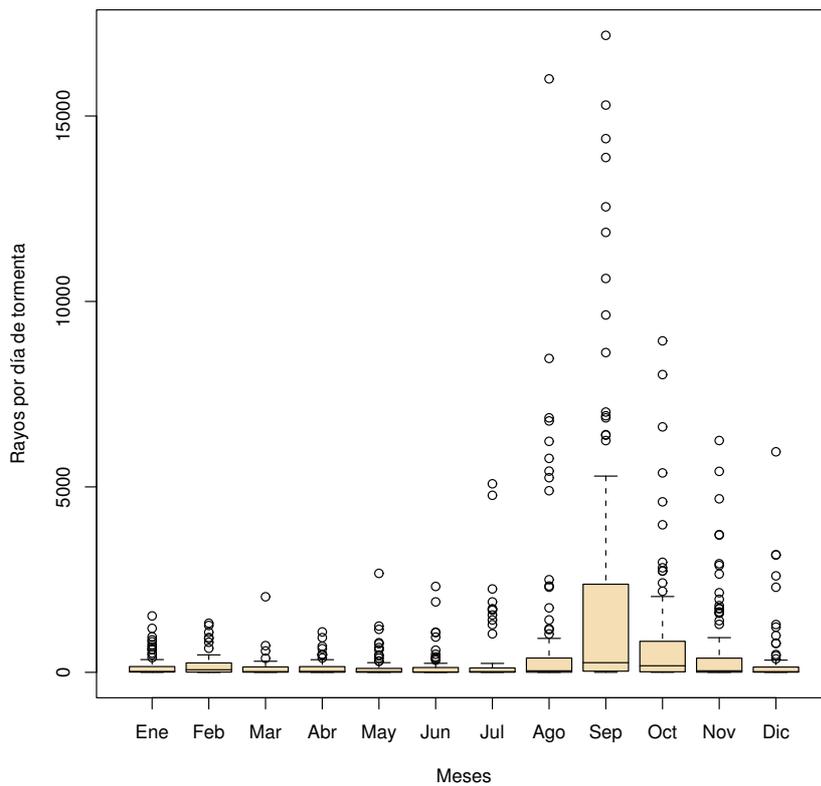


Fig. 4: Diagramas de caja del número mensual de rayos por día de tormenta en la zona (1998-2004).

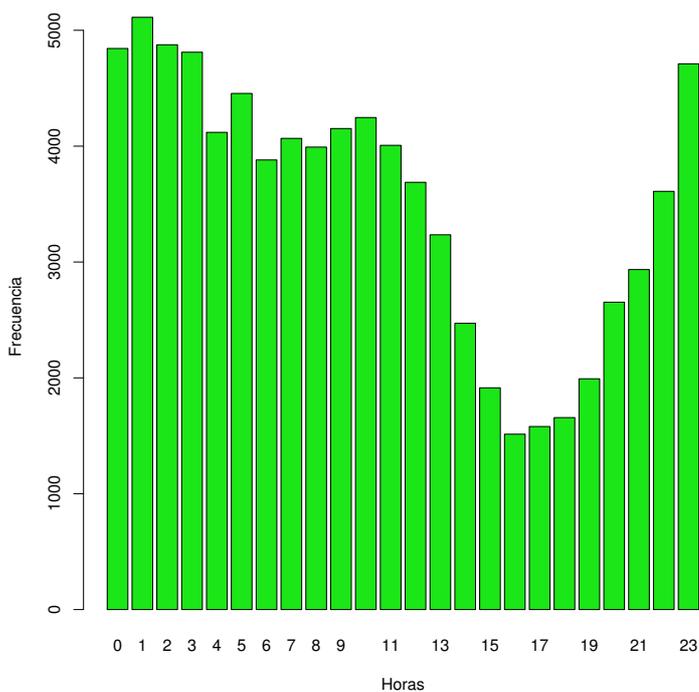


Fig. 5: Frecuencia media horaria de rayos en el área de estudio (1998-2004).

Si en lugar de representar las frecuencias horarias de rayos representamos la frecuencia de horas en que ha habido al menos un rayo en la zona de estudio, obtenemos un gráfico (no mostrado aquí) bastante más regular, con frecuencias de alrededor de 50 ocurrencias de tormenta por hora al año durante las horas nocturnas, para descender hasta un mínimo de 35,4 horas con tormenta al año entre las 17 y las 18 horas (siempre UTC).

En la figura 6 se muestra la distribución conjunta de frecuencias media de rayos por horas y meses, resultando muy patente el máximo de septiembre. El mínimo horario de media tarde se extiende a lo largo de todo el año, aunque en la primera mitad del año se diluye entre la baja frecuencia general de rayos.

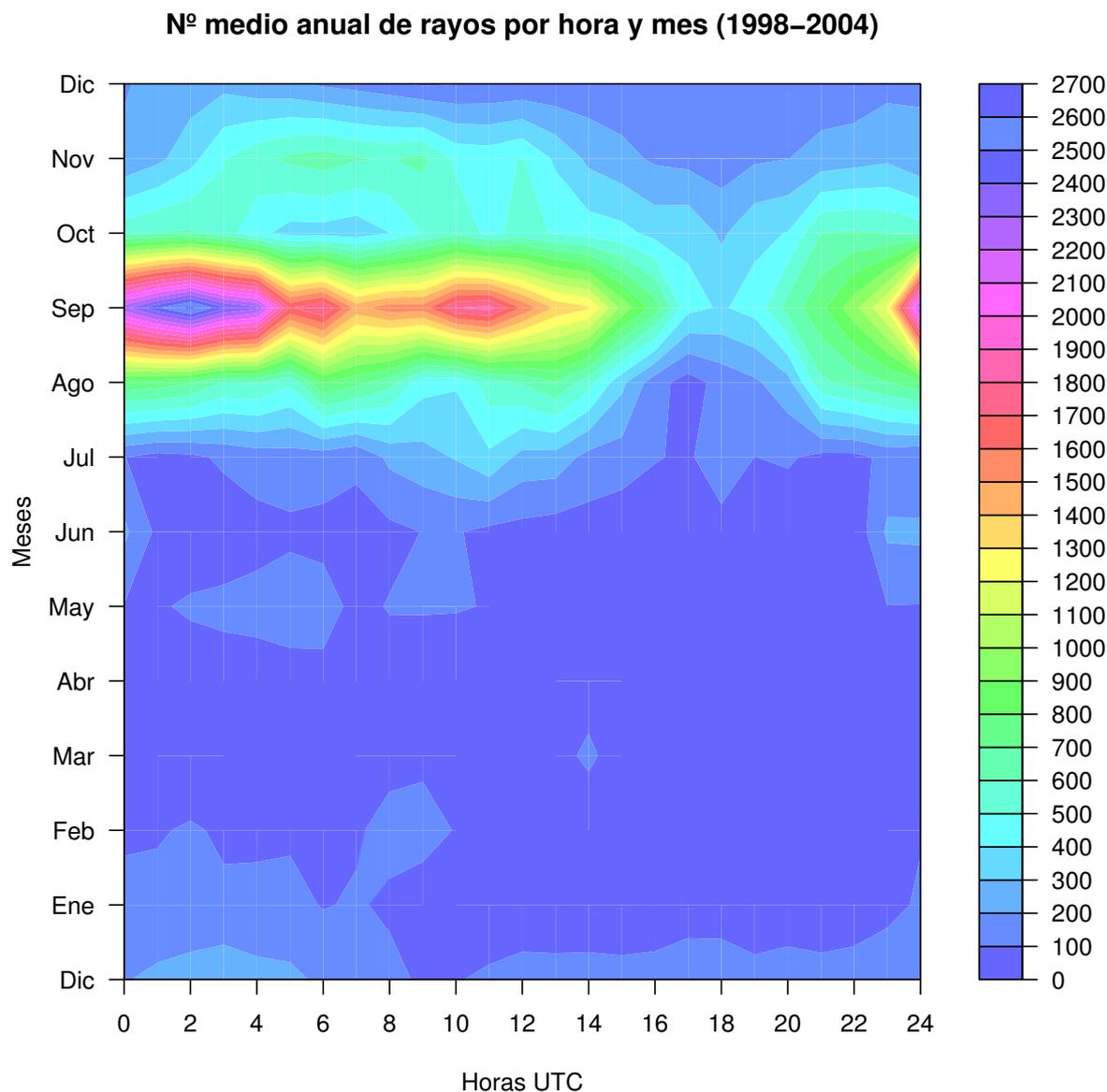


Fig. 6: Frecuencia media, por horas y meses, de rayos en el área de estudio (1998-2004).

La figura equivalente (no mostrada) de frecuencias de tormentas presenta un aspecto similar, pero el máximo de otoño se divide en dos bandas (septiembre y noviembre), y los mínimos de febrero-marzo y junio-julio también se localizan en bandas distintas, de acuerdo con la frecuencia mensual de tormentas vista en la figura 3.

3.2. Distribución espacial de rayos y días de tormenta

Para estudiar la distribución geográfica de los rayos se han calculado las frecuencias de los mismos en cuadrados de 10x10 km. La cartografía de los valores medios anuales tiene un aspecto bastante ruidoso (fig. 7), producto de un reducido número de años de datos y una elevada resolución espacial. No hay que prestar atención, por tanto, a los detalles, pero sí es válida la distribución general, con un gradiente desde el noroeste, con mayor actividad tormentosa (de 150 a 200 rayos anuales por cada 100 km²), hacia el sudeste, donde encontramos los mínimos valores (alrededor de 50 rayos). En cuanto a las islas, Menorca (en el nordeste de la figura) presenta frecuencias de alrededor de 120 rayos/100 km², que en Ibiza (en el sudoeste) sólo se alcanzan en el norte, mientras que en el sur y en su vecina Formentera se tienen unos 90 rayos/100 km². En Mallorca (la de mayor extensión, en el centro de la figura) se llegan a superar los 150 rayos en el norte, presentando en el sur frecuencias de unos 70 rayos/100 km².

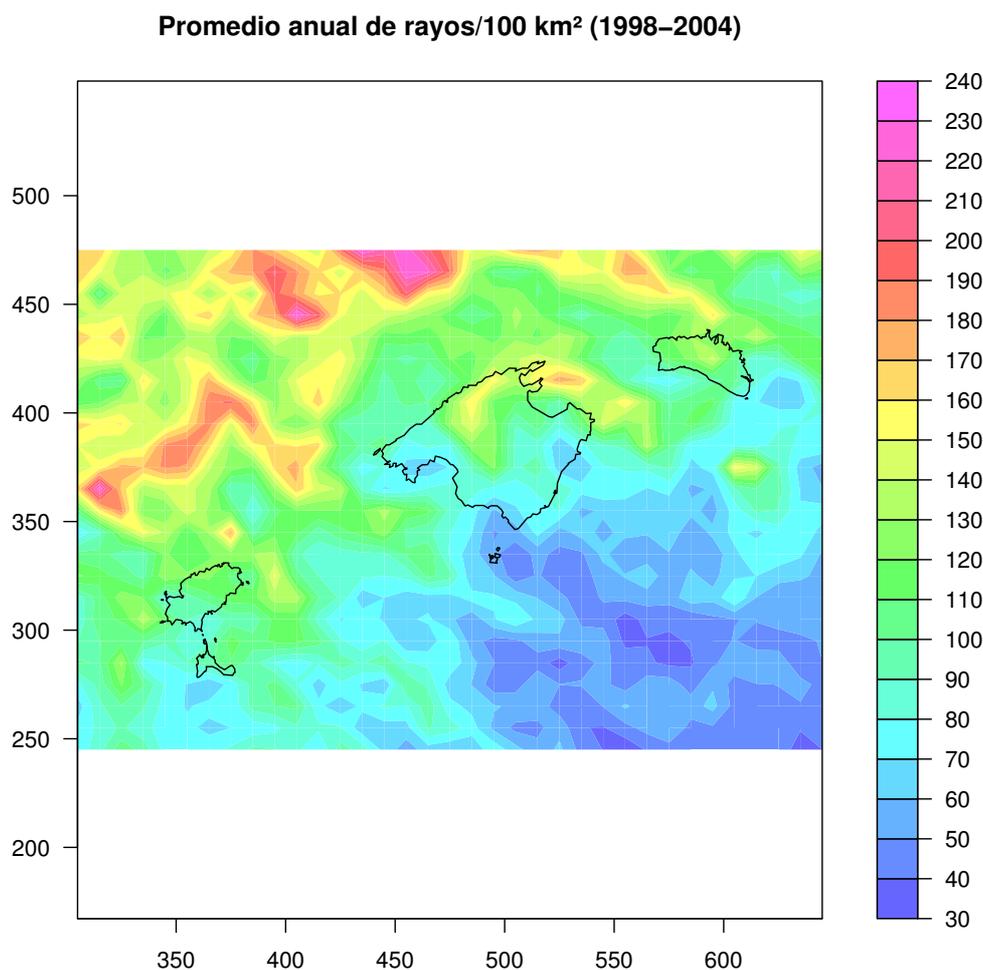


Fig. 7: Frecuencia anual de rayos en cuadrículas de 10x10 km (1998-2004).

La figura 8 recoge las distribuciones estacionales del número medio de rayos calculado en las mismas cuadrículas. En primavera se observa una mayor actividad en el nordeste del área, y un aumento de la frecuencia en zonas del interior de Mallorca. En verano el gradiente va de noroeste a sudeste, con un máximo muy marcado en el interior de Mallorca, en la vertiente sudeste de la cordillera principal de la isla (Sierra de Tramontana), que se extiende a lo largo del noroeste de la misma. En otoño el gradiente de noroeste a sudeste está menos marcado que en verano, y en el interior de Mallorca aparece ahora una banda de mínimos. En invierno no se observa un claro gradiente general, y los máximos del norte de Mallorca y el sudeste de Ibiza deben estar causados por tormentas especialmente intensas que afectaron a esas zonas durante el periodo estudiado.

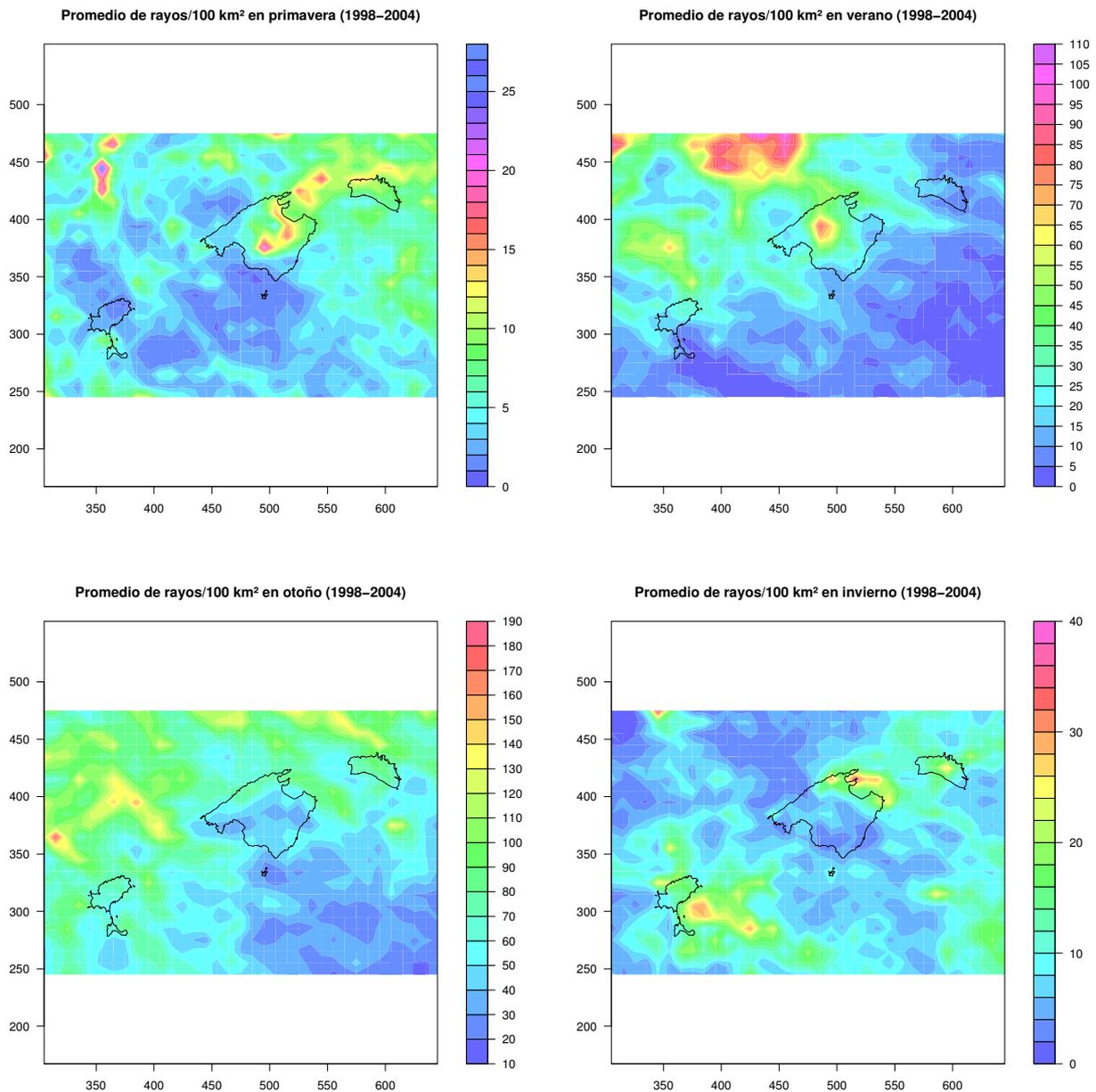


Fig. 8: Promedio anual de rayos por cada 100 km² en primavera, verano, otoño e invierno.

Se probó también a cartografiar los rayos más intensos (con un valor absoluto de al menos 80 kA, algo más del 1 % del total), pero el resultado se parecía más a una distribución aleatoria que a cualquier pauta interpretable.

Si en lugar de calcular la frecuencia de rayos, contamos el número de días en que ha habido al menos un rayo en los mismos cuadrados de 10x10 km, obtenemos las distribuciones geográficas de las figuras 9 y 10. En la primera de ellas observamos la distribución anual del número de tormentas, que presenta un fuerte gradiente, pero de nordeste a sudoeste, en contraste con el gradiente de noroeste a sudeste del número de rayos.

En la figura 10 se ha representado el número medio de tormentas por estaciones. Así, en primavera las escasas tormentas se distribuyen con un gradiente similar al anual. En verano hay un gradiente NNW-SSE muy marcado, con un máximo muy acusado en el centro-norte de Mallorca. En otoño tenemos las máximas frecuencias de días de tormenta, con un fuerte gradiente nordeste-sudoeste. Y en invierno se

observa un gradiente de sudeste a noroeste, es decir, de sentido contrario al general de número de rayos, y con una frecuencia de tormentas en Menorca sensiblemente mayor que el de las demás islas.

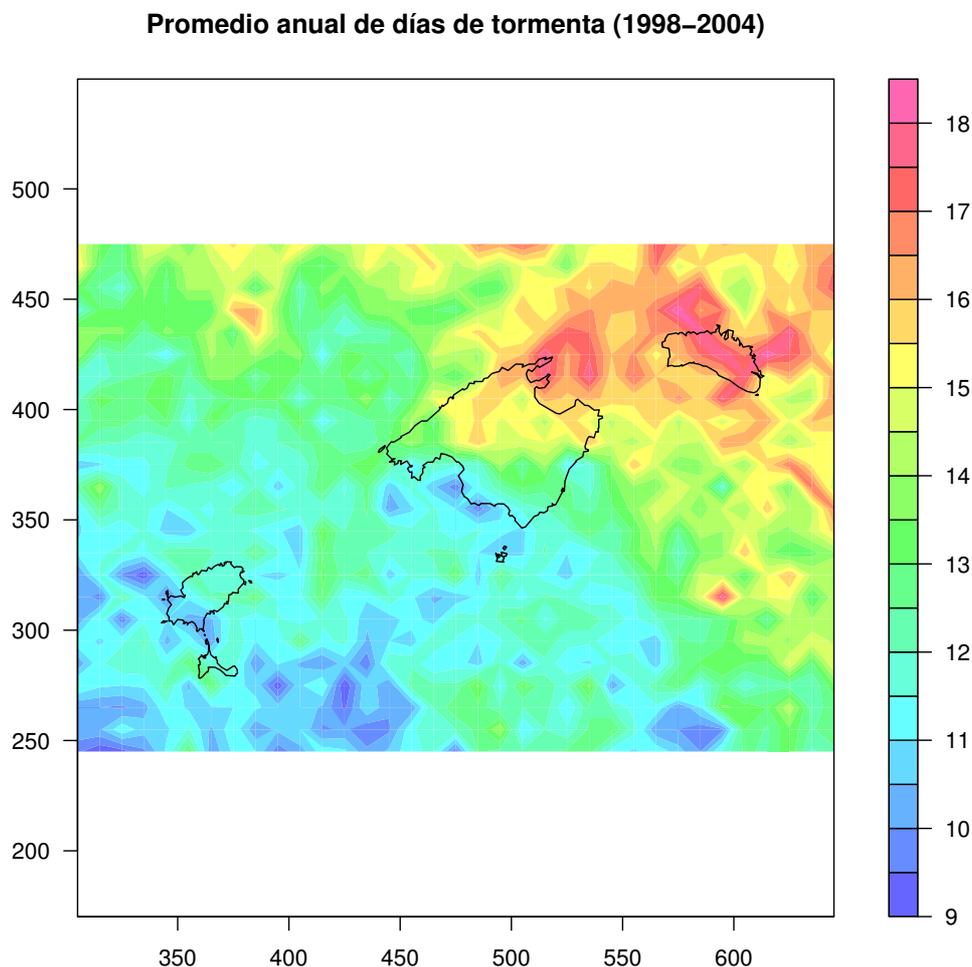


Fig. 9: Frecuencia anual de días de tormenta en cuadrículas de 10x10 km (1998-2004).

4. Discusión y conclusiones

El resultado más notable obtenido aquí ha sido el constatar la gran diferencia de actividad de las tormentas de septiembre y, en menor medida, agosto y octubre, respecto a las demás. El mecanismo más importante para explicar esta actividad debe ser la inestabilización de las capas bajas de la atmósfera por incorporación, en forma tanto de calor latente como de calor sensible, de la energía solar acumulada por el agua del mar durante el verano. Estos procesos ya eran considerados la causa de la mayor frecuencia de tormentas en la época otoñal, pero ahora se revelan, sobre todo, como factor determinante de una considerable mayor potencia de las tormentas de esta época y, especialmente, del mes de septiembre. En este sentido, cabe pensar en una elevada correlación entre el número de descargas eléctricas y otros fenómenos asociados a tormentas violentas, tales como pedrisco y vientos muy fuertes (tornados, frentes de racha, etc), que tendrían por ello mayor probabilidad de ocurrencia en este mismo mes.

El mínimo horario de media tarde también resulta, a primera vista, algo sorprendente. En zonas continentales cabría esperar un máximo hacia el mediodía o primeras horas de la tarde, por efecto de la convección generada por el calor del sol. Pero en nuestro caso estamos tratando de un área preponderan-

temente marítima, que parece tener un comportamiento inverso. Un tratamiento individualizado del área de Mallorca, la isla de mayor tamaño y con una reconocida zona de convergencia en el interior (entre los sistemas de brisa de las bahías de Palma, en el sudoeste, y Alcudia, en el nordeste), podría tal vez reflejar un aumento de tormentas en las horas de mayor insolación, al menos en la mitad más cálida del año. La influencia de esta zona de convergencia se hace notar tanto en la distribución geográfica de la frecuencia de rayos (en primavera y verano) como en la de días de tormenta (en verano y, en menor medida, en otoño).

El gradiente general noroeste-sudeste del número de rayos observado en la zona estudiada está fundamentado sobretudo en las frecuencias de verano, pudiendo atribuirse a las tormentas que, de acuerdo con la experiencia de la vigilancia meteorológica operativa de la zona, se originan en la Península Ibérica en la época estival, y que luego penetran en el mar, desplazándose hacia el este o nordeste.

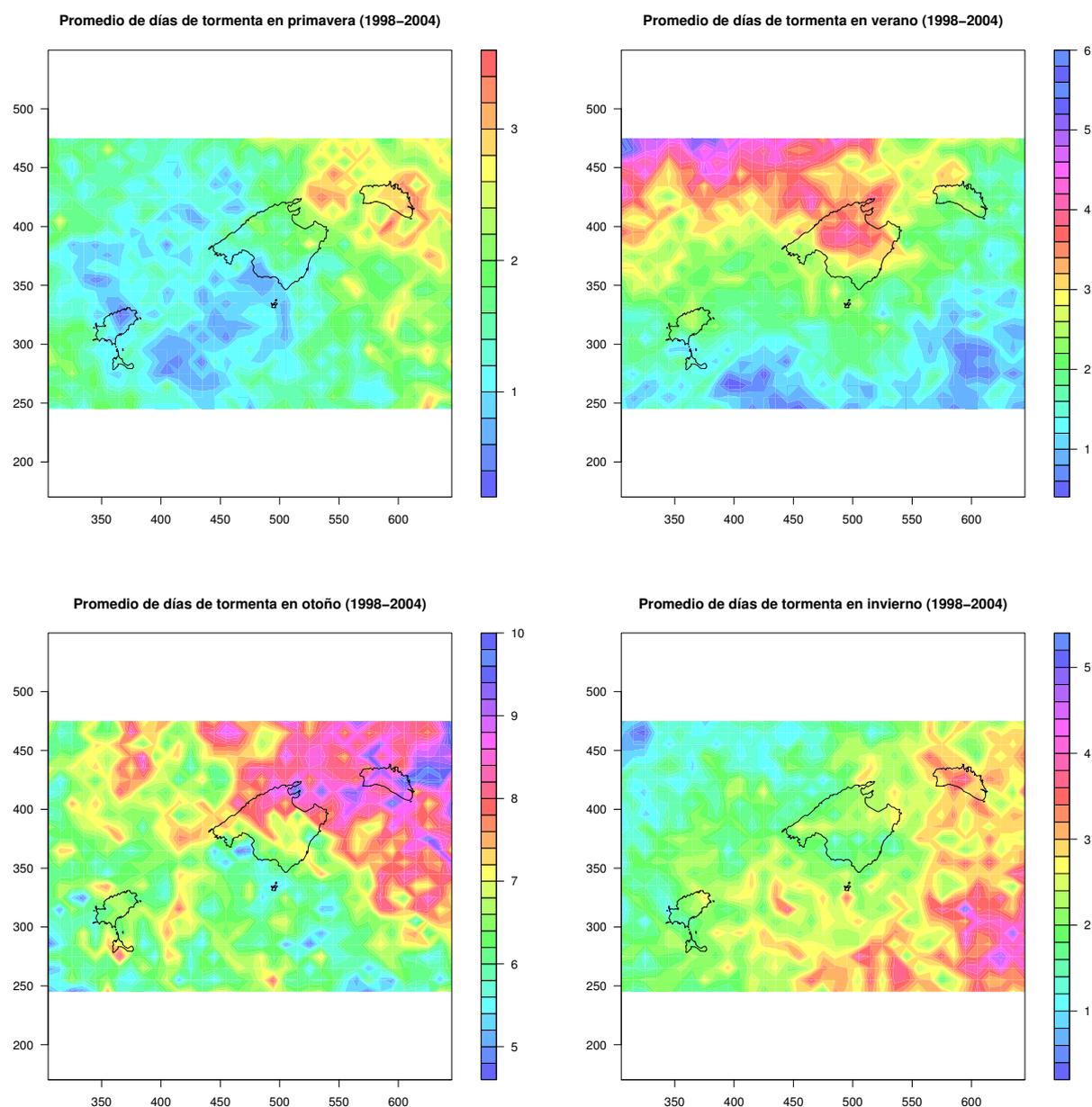


Fig. 10: Promedio anual de días de tormenta en primavera, verano, otoño e invierno (1998-2004).

Este gradiente se confirma también con el de número de días de tormenta en verano. En cambio, en otoño las mayores frecuencias aparecen en el nordeste, lo que parece corresponder con la fuerte actividad ciclogénica que tiene lugar en el Golfo de León durante esta estación. En invierno las tormentas son más frecuentes en el sudeste (aunque con menores valores absolutos que en verano y otoño), lo que tal vez indique que en esta época es el continente africano el que toma el relevo como principal fuente generadora de tormentas, que pueden desplazarse posteriormente hacia el norte o nordeste. La primavera aparece, por último, como una mera estación de transición entre el invierno y el verano. Estos extremos precisan de posteriores comprobaciones y de una ampliación de este estudio que aborde la identificación de tormentas individuales y el análisis de sus trayectorias.

Agradecimientos

Queremos agradecer a Francisco Pérez-Puebla los comentarios y sugerencias aportados.

Bibliografía

Álvarez Lamata E (2001): Climatología de descargas eléctricas. V Simposio Nacional de Predicción, INM, Madrid, 20-23 noviembre 2001.

González Márquez J (1996): Distribución de las tormentas en Baleares. *Boletín Mensual Climatológico*, Islas Baleares, 53:121-124.

Holle RL, López RE y Watson AI (1990): Cloud-to-ground lightning detection using direction-finder networks: Recent advances and applications. *Bulletin of the World Meteorological Organization*, 39:177-180.

Holle RL y López RE (1993): *Overview of real-time lightning detection systems and their meteorological uses*. NOAA Technical Memorandum ERL NSSL-102, Norman, Oklahoma, 68 pp.

Pérez-Puebla F, Gutiérrez Núñez JM y López Ruíz FJ (1999a): Análisis de las intensidades de los rayos registrados en la Península Ibérica en el período 1992-1995. *IV Simposio Nacional de Predicción del INM*, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 577-580.

Pérez-Puebla F, Gutiérrez Núñez JM y López Ruíz FJ (1999b): Análisis de la distribución temporal y espacial de los rayos registrados por la red de detección del I.N.M. en el período de 1992-1995. *IV Simposio Nacional de Predicción del INM*, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 183-192.

Terradellas E (1999): Focalización de la convección estival en Cataluña. *IV Simposio Nacional de Predicción del INM*, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 133-142.

