

Tendencias y homogeneidad

EN LAS SERIES DE DESCARGAS ELÉCTRICAS DEL PERIODO 2000-2011

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ, FRANCISCO PÉREZ PUEBLA Y CÉSAR ZANCAJO RODRÍGUEZ. AEMET, MADRID

1. Descripción del problema

La red de detección de descargas eléctricas de AEMET está compuesta por una suma de redes de antenas de radio-detección de diferentes modelos del fabricante VAISALA. Todas las estaciones funcionan sincronizadas en tiempo real proporcionando como producto básico la localización de descargas eléctricas realizada por un mismo sistema de cálculo de localizaciones. Este sistema provee suficientes datos en un área muy amplia para poder hacer el seguimiento del fenómeno tormentoso desde el norte de Mauritania hasta las proximidades del Canal de la Mancha y desde las zonas marítimas de Oporto hasta el Tirreno e incluso el Adriático con unas características de eficiencia y precisión desiguales que obviamente son más pobres cuanto más nos alejamos del interior de la malla de las radioestaciones que componen la red.

La red está constituida por 20 estaciones nacionales (14 en la península, 1 en Baleares y 5 en Canarias) y otras 18 internacionales (4 de Portugal y 14 de Francia) que comparten sus datos simultáneamente mediante un sistema de concen-

tración de datos de todas las detecciones destinado además al cálculo de localizaciones.

Este número de estaciones se ha ido incrementando con el tiempo desde las 14 iniciales en 1992. Los principales hitos en este proceso han sido el inicio de la colaboración con Portugal en 2003, el progresivo incremento de radioestaciones intercambiadas con Francia que se remonta al año 1996 y, por supuesto, el despliegue de la red en Canarias fruto de la subvención de la Unión Europea recibida en 2005.

Desde el inicio de sus operaciones en enero de 1992 la red nacional de descargas eléctricas ha ido evolucionando tecnológicamente. Podemos hablar de dos fases claramente diferenciadas: antes y después del arranque de la tecnología de localización temporal con GPS que se puso en operación el año 2000, quedando relegada la radiogoniometría a una técnica de localización de descargas prácticamente residual o de apoyo a la precisión del GPS. Este cambio tecnológico, unido a la rapidez de los detectores para poder resolver las diferentes descargas que componen los rayos, proporcionó un mayor detalle a la información sobre tormentas eléctricas.

A la información básica del posicionamiento de las descargas se le han ido añadiendo otra serie de magnitudes derivadas que caracterizan la actividad tormentosa en un determinado lugar bien por la frecuencia de su aparición o la duración (nº de días de tormenta, nº de días con tormenta intensa, nº de horas con tormenta al día, al mes, al año, ... etc.) o por la intensidad del fenómeno (nº medio de descargas por hora, o nº medio de descargas hora en el momento de máxima frecuencia del fenómeno, ... etc.)

Del mismo modo que se abordaron estudios preliminares de los datos cuando la red disponía sólo de tecnología angular (1992 a 2000) también se hicieron en esta nueva fase. A estos estudios preliminares les han seguido algunas valora-



Figura 1: Estaciones de radiodetección con tecnología que combina GPS y radiogoniómetros tratadas en la red de detección de descargas de la AEMET. En amarillo estaciones IMPACT ESP de Portugal, en azul claro las estaciones IMPACT ES ó LS7000 ó LS7001 de España y en azul oscuro las LS7001 de Francia.

Tendencias y homogeneidad

EN LAS SERIES DE DESCARGAS ELÉCTRICAS DEL PERIODO 2000-2011

- 6) nº medio de descargas en horas con descarga intensa (*) (medDesclnten)
- 7) nº de días con alguna hora de descarga intensa (*) (nuDiasInten)
- 8) nº de horas con descarga intensa (*) (nuHorasInten)
- 9) media de las horas del día en que hay descarga intensa (*) (medHoralnten)

Para las cuatro últimas variables marcadas con asterisco, referidas a descarga intensa, se define un umbral de número de descargas horarias que es el mínimo de las medias de descarga horaria en horas con descarga de las 4 estaciones del año (ene-feb-mar,...) para cada emplazamiento. Las horas en que se supera este umbral son las de descarga intensa.

Se ha aplicado a cada serie de 12 valores en cada uno de los 83 x 12 emplazamientos-meses el test de tendencia no paramétrico de Mann-Kendall. Este test tiene en cuenta la posibilidad de que haya en la serie valores repetidos, como puede ser el caso en las series de algunas variables anteriores. El estadístico de este test para una serie de datos $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ tiene la forma:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k),$$

Bajo la hipótesis nula de este test, que consiste que las x_i son realizaciones de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, la distribución de S tiene esperanza nula y una varianza conocida que se usa para emplear una aproximación normal a su distribución.

Esta aproximación normal a la distribución de S bajo la hipótesis nula es aceptable para 12 valores distintos, pero si hay varios valores repetidos, o si el número de valores es menor a 12, como para alguna de las variables analizadas que pueden estar ausentes en algunos meses por falta de descargas, hay un cierto error. Por ello se ha calculado la distribución exacta del estadístico S para cada serie analizada teniendo en cuenta la presencia en su caso de elementos repetidos por medio de una técnica combinatoria y se ha obtenido de esa forma el p-valor exacto del test.

2.2 ESTUDIO DE TENDENCIAS

En la tabla 1 se han representado en los mapas las áreas de tendencia significativa para cada una de las 9 variables analizadas en este trabajo, y para los meses en que el número de tendencias significativas era mayor (abril, junio, agosto y septiembre).

En el mes de abril se aprecia un patrón de tendencia significativa creciente para varias variables (como nº de des-

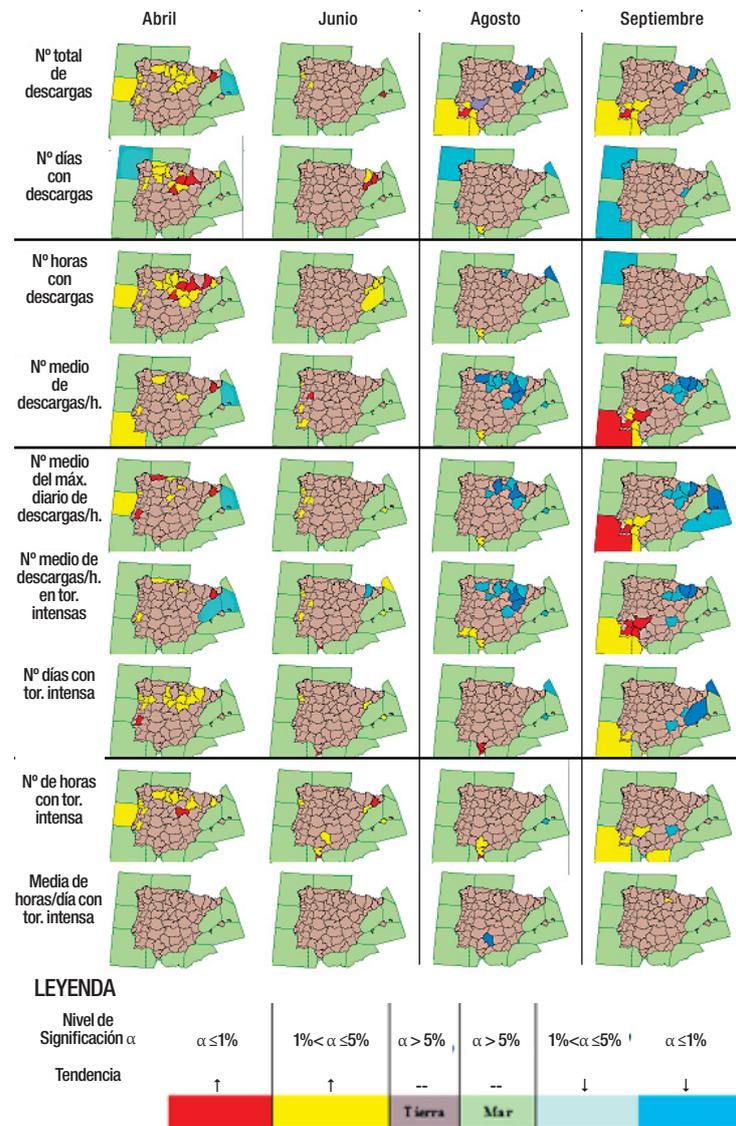


Tabla 1: Mapas con las tendencias significativas resaltadas para las variables indicadas en la columna de la izquierda durante los meses de abril, junio, agosto y septiembre.

cargas, nº de días/horas con descarga/tormenta) en la mitad Norte peninsular salvo el extremo NO. En junio el patrón de tendencia creciente afecta a Cataluña y Baleares para varias variables, en especial el nº de días/horas con descargas. En agosto destaca un patrón con tendencias decrecientes en el cuadrante NE, y para algunas variables, y menos extenso, con tendencias crecientes hacia el SW. En septiembre se establece una clara bipolaridad NE/SW con el mismo signo de tendencia decreciente/creciente respectivamente. Tanto en agosto como, sobre todo, en septiembre, las variables que mejor reflejan el comportamiento dipolar son las relativas al nº medio de descargas por hora.

En la tabla 2 recogida en el anexo final se presentan las tendencias menos significativas del resto de los meses respecto a los cuatro meses consignados en los mapas de la tabla 1. Al igual que en la tabla 1 mediante mapas, en esta tabla 2 se presentan los resultados en cada una de las 9 variables analizadas mediante el test de Mann con significación al menos del 5%. Un 1 significa significativo al 5% pero no al 1% y un 2 significativo al 1%, mientras que un 0 significa no significativo al 5%. El signo se refiere al de la tendencia: + para tendencia creciente y - para decreciente.

El análisis global por variables se presenta en la tabla 3, que en la primera fila recoge el número total de emplazamientos-meses (del total de $83 \times 12 = 996$) para cada una de las 9 variables (en columnas) con tendencia significativa; en la segunda fila el % del nº de emplazamientos-meses con tendencia significativa sobre el total de emplazamientos-meses, y las dos últimas filas distinguen los casos de la primera fila según el nivel de significación, SIG5 tendencia significativa al 5% y SIG1 al 1%. Las variables con mayor número de emplazamientos-meses con tendencia significativa son las medias de descargas horarias en horas con descarga (65) y la media de descargas en horas con descarga intensa (65), y ya a más distancia el nº total de descar-

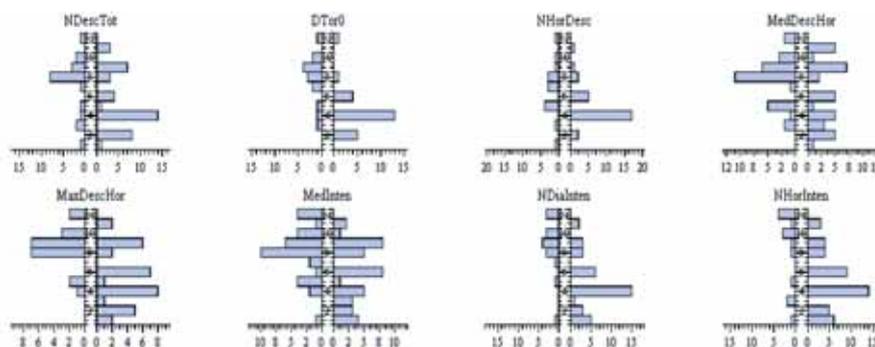


Figura 5: para cada variable, frecuencias de tendencias significativas en cada mes del año (en ordenadas), hacia la derecha tendencia positiva, izquierda negativa.

	NDescTot	D'Tor0	NHorDesc	MedDescHor	MaxDescHor	MedInten	NDialInten	NHorInten	MedHorIn
TOTSIG	61	39	43	66	56	75	54	59	24
TotSig %	6.1	3.9	4.3	6.6	5.6	7.5	5.4	5.9	2.4
SIG5	54	30	36	53	44	61	45	50	18
SIG1	7	9	7	13	12	14	9	9	6

Tabla 3: Estadística por variables de tendencias significativas

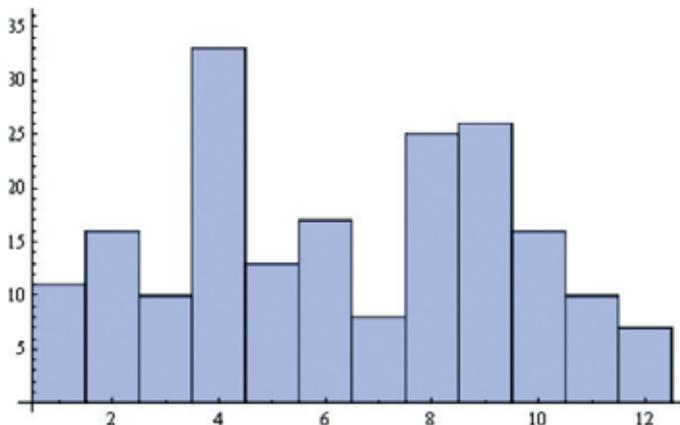


Figura 4: Histograma por meses de tendencias significativas

gas mensual (56). A la vista de los porcentajes de la segunda fila, todos ellos salvo el de la última variable, próximos al 5%, que es el nivel de significación del test de Mann, vemos que el conjunto de las series y variables están próximos a la aleatoriedad que implica la hipótesis nula del test.

En el histograma de la figura 4 se refleja para cada mes el nº de emplazamientos en los que alguna variable da tendencia significativa. Se ve que abril con 33 emplazamientos es el que más tendencias muestra, seguido de septiembre con 26 emplazamientos y julio con 25 emplazamientos.

El análisis de tendencias por meses y variables, distinguiendo los dos signos de las tendencias significativas, se

presenta en los histogramas de la figura 5. Para cada variable de las 8 indicadas se representan para cada mes en ordenadas las tendencias crecientes con barras horizontales hacia la derecha y las decrecientes hacia la izquierda. La longitud de las barras corresponde al número de emplazamientos con tendencia significativa del signo respectivo.

Vemos que para varias variables, entre ellas el nº de descargas total mensual y el nº de días con descarga, el mes de abril destaca por el nº de tendencias positivas. Por el lado de las tendencias negativas destaca el mes de agosto, en variables como la media de descargas en hora con descarga o el máximo nº de descargas en una hora. En septiembre ambos signos de tendencia están bien representados.

En la figura 6 se dibujan los ciclos anuales de nº total de descargas por mes para los dos periodos de 6 años.

En la figura 7 se representan los porcentajes de variación entre las dos mitades del periodo 2000-2011 representadas

Tendencias y homogeneidad

EN LAS SERIES DE DESCARGAS ELÉCTRICAS DEL PERIODO 2000-2011

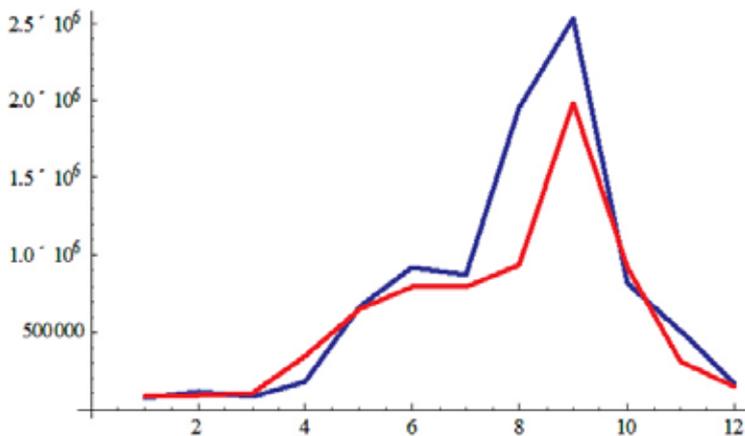


Figura 6: Comparación de los ciclos anuales de nº total de descargas mensuales en todos los emplazamientos. En azul los años 2000-2005 y el rojo los años 2006-2011.

antes. Vemos que la mayor variación porcentual, con un aumento en la mitad más reciente de más del 80% corresponde a abril, que en la figura de arriba casi no se aprecia al tener un número total de descargas mucho más bajo que los meses veraniegos. En agosto la disminución porcentual ronda el 50%. En noviembre la disminución porcentual es también importante, cerca del 40%, pero en cambio no se ha traducido en tendencias significativas apreciables.

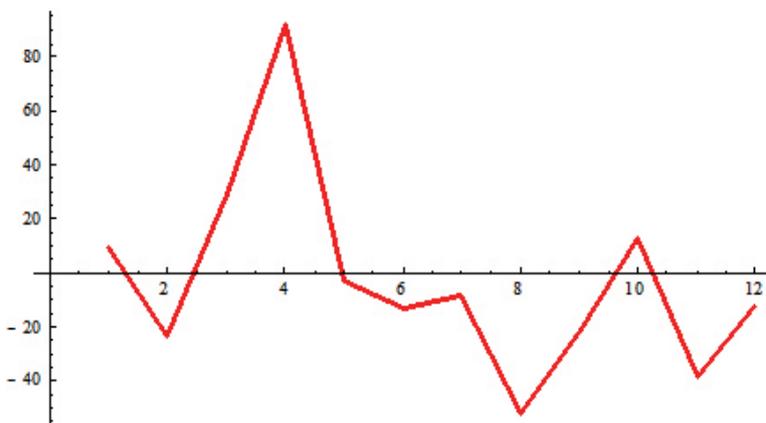


Figura 6: variación relativa del nº de descargas total mensual medio para los dos periodos 2000-2005 y 2006-2011.

3. Conclusiones sobre la homogeneidad de las series de radiodetección sinóptico

Suponiendo una climatología constante de las variables de descargas de rayos analizadas durante los 12 años de este estudio, la presencia de tendencias significativas puestas de manifiesto con el test de tendencia no paramétrico de Mann-Kendall sería indicativa de inhomogeneidades en las series. Sin embargo, no sabemos a priori si la climatología de las variables es constante, y además las series utilizadas son cortas. Por tanto tendremos que tratar de discernir entre los posibles efectos de inhomogeneidades y la presencia de tendencias reales en las variables a partir de indicios más indirectos.

Los porcentajes de tendencias significativas por variables recogidos en la tabla resumen por variables (tabla 3), están alrededor del 5%, que es el nivel de significación usado en el test. Esto es, los porcentajes obtenidos se aproximan a lo que cabría esperar con series perfectamente aleatorias. El resultado nos indica que de existir inhomogeneidades estas no pueden ser muy grandes. Además, si analizamos la distribución de las tendencias por meses, podemos afinar la anterior conclusión, en el sentido de que si hubiera habido una inhomogeneidad, debida a un cambio instrumental por ejemplo, esta hubiera dejado su huella en todos los meses por igual, aproximadamente. Sin embargo, el histograma de distribución de tendencias significativas por meses de la figura. 4, muestra una importante variación en el número de tendencias significativas entre meses, que ya se comentó. Por lo tanto, se refuerza la conjetura de que hay que descartar que haya inhomogeneidades importantes en el periodo de estudio 2000 - 2011.

A pesar de lo analizado hasta aquí, hay que advertir que con unas series de longitud tan reducida no se puede esperar un poder de detección de inhomogeneidades alto. Estas pueden, con todo, existir y sin embargo no ser detectables en este corto periodo de años. Por tanto, en este tipo de sistemas de radiodetección es muy importante evaluar de un modo empírico la repercusión que tienen las modificaciones tecnológicas de los sistemas electrónicos. Esto sólo es posible mediante el solapamiento de los sistemas nuevo y viejo por medio de la observación simultánea del fenómeno durante un periodo suficientemente largo para hacer patente con claridad las tendencias instrumentales debidas a la evolución tecnológica y así poder obtener algoritmos de prolongación de las series para su validez durante periodos mayores que los de la vida media del instrumento. De otro modo sería inútil el uso climatológico de los datos proporcionados por los sistemas de radiodetección pasados, presentes o futuros.

¹ Pérez Puebla, F y Zancajo Rodríguez, C. Regímenes tormentosos en la península ibérica durante la década 2000 - 2009. Revista de la AME. Nº 28. Abril de 2010.

² Pérez Puebla, F. y Zancajo Rodríguez, C. Storm behaviour in the iberian peninsula. European Lightning Detection Workshop 2010. 6 -8 octubre. Helsinki.

ANEXO FINAL

La cabecera de la tabla 2 de este anexo responde a la siguiente clave de magnitudes:

Estación	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Mes	NDescTot	DTorO	NHorDesc	MedDescHor	MaxDescHor	MedInten	NDiaInten	NHorInten	MedHorIn

Estación	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Barcelona	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Castellón	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
Ibiza	1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0
Pontevedra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Soria	1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0
Castelobranco	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0
Guarda	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Leiria	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Setúbal	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Finisterre	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Porto	1	1	0	0	0	1	1	2	2	0
Cádiz	2	1	0	0	1	2	1	0	0	0
León	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Madrid	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0
Ourense	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Pontevedra	2	1	1	1	0	1	1	0	1	0
Zamora	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Braga	2	1	0	0	2	1	0	0	0	0
Guarda	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Z. M. de Oporto	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Viana do Castelo	2	0	1	0	0	0	0	1	1	-1
Vilareal	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Viseu	2	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Baleares	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Finisterre	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
San Vicente	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Zm de Cádiz	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Cantabria	3	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
Lleida	3	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	0
Tarragona	3	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
Valencia	3	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0
Evora	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Faro	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Alborán	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Cantábrico	3	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
San Vicente	3	0	0	0	2	0	1	0	0	0
Z. M. Cádiz	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Alicante	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Burgos	5	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0
Cáceres	5	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Cádiz	5	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
Cantabria	5	0	0	0	-1	0	-2	0	0	0
Gerona	5	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
Ibiza	5	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Lleida	5	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
Valencia	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Estación	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Estrecho	5	-1	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-2	0
Finisterre	5	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Z. M. de Cádiz	5	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
Z. M. de León	5	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
Granada	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
A Coruña	7	0	-2	-2	0	0	0	-1	0	0
Lugo	7	0	0	0	0	0	0	0	0	-2
Madrid	7	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	1
Viana do Castelo	7	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Cantábrico	7	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
Finisterre	7	0	-2	-1	0	0	0	0	0	-1
Z. M. de Cabrera	7	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
Álava	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cádiz	10	0	0	0	0	0	0	0	0	-2
Castellón	10	-1	0	0	0	0	0	0	-1	2
Ciudad Real	10	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
Guipúzcoa	10	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Jaén	10	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
Lleida	10	0	-2	0	0	0	0	0	0	0
Lugo	10	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0
Murcia	10	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Tarragona	10	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0
Teruel	10	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	0
Valencia	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Aveiro	10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Beja	10	0	0	0	2	0	1	0	0	0
Evora	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cantábrico	10	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Guipuzcoa	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
A Coruna	11	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Sevilla	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Valladolid	11	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Vizcaya	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Zaragoza	11	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0
Leiria	11	1	0	0	1	0	0	1	2	0
Lisboa	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Viana do Castelo	11	1	0	1	1	0	1	0	0	0
Finisterre	11	1	0	0	1	1	0	0	1	0
Barcelona	12	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0
Cantabria	12	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
Cuenca	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Gerona	12	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	0
Lugo	12	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
Braganza	12	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0
Finisterre	12	0	-1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 2: Lista ordenada por meses (salvo abril, junio, agosto y septiembre, ver tabla 1) de presencia de tendencias significativas (0 no tendencia, 1 tendencia significativa al 5% pero no al 1%, 2 significativa al 1%; signo según el de la tendencia).