



## **Análisis espacial de los valores de los índices de gini y de concentración con intervalos de clase 1, 5 y 10 mm en el litoral de la cuenca del mediterraneo occidental (1951-2010)**

### **Analyse de la distribution spatiale des valeurs de quatre indices de concentration des précipitations quotidiennes sur le littoral du bassin de la Méditerranée occidentale (1951-2010)**

Aziz BENHAMROUCHE<sup>1,2</sup> & JAVIER MARTIN-VIDE<sup>2</sup>

**Résumé :** Dans cette recherche on réalise une analyse de la distribution spatiale des valeurs de quatre indices de concentration de précipitations quotidiennes sur le littoral du bassin de la Méditerranée occidentale. Les indices utilisés ont été *the Concentration Index* avec la résolution des quantités de précipitations 1, 5 et 10 mm et l'indice de Gini avec la résolution de 1 mm. Les valeurs des quatre indices sont calculées pour la période complète 1951-2010 avec 31 observatoires, la première sous-période 1981-2010 avec 46 observatoires et la deuxième sous-période 1951-1980 avec 31 observatoires. Ont été cartographiés les résultats à l'aide des outils des programmes de Didger 3 et de Surfer.

**Mots-clés :** Répartition spatiale, Précipitations quotidiennes, *Concentration Index*, Indice de Gini, Méditerranée occidentale.

**Resumen :** En este artículo se realiza un análisis de la distribución espacial de los valores de cuatro índices de la concentración diaria de la precipitación en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental. Los índices utilizados han sido el *Concentration Index* con resolución de las cantidades de precipitación de 1, 5 y 10 mm y el índice de Gini con resolución de 1 mm. Los valores de los cuatro índices se han calculado tomando el periodo completo 1951-2010 con 31 observatorios, el primer subperiodo 1981-2010 con 46 observatorios y el segundo subperiodo 1951-1980 con 31 observatorios. Se han cartografiado los resultados mediante las herramientas de los programas Didger 3 y Surfer 8@.

**Palabras clave :** Distribución espacial, Precipitación diaria, *Concentration Index*, Índice de Gini, Mediterráneo occidental.

## **INTRODUCCION**

El análisis de la precipitación diaria es un tema de gran interés en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental. La importancia de este análisis viene justificada por los problemas hidrológicos debidos a la alta intensidad y la desigual distribución espacio-temporal de las precipitaciones diarias en amplias zonas del Mediterráneo occidental (MARTIN-VIDE, 2004; CORTESI *et al.*, 2012; BENHAMROUCHE & MARTIN-VIDE, 2011, 2012; MARTIN-VIDE, 2013; BENHAMROUCHE *et al.*, 2015; BENHAMROUCHE & MARTIN-VIDE, 2017 en prensa). El interés por este tipo de análisis no es meramente climatológico, sino que también atañe a otros ámbitos medioambientales y socioeconómicos, sobre todo en ambientes ecológicamente frágiles como el litoral mediterráneo occidental (DE LUIS *et al.*, 1996; MARTIN-VIDE, 2004). En estos ambientes frágiles, los principales problemas son los relacionados con los episodios de precipitaciones torrenciales, los cuales pueden causar catástrofes naturales. Las inundaciones, las avenidas torrenciales y la erosión son ejemplos de desastres y efectos nocivos sobre diferentes ámbitos y sectores socioeconómicos. Solo por efecto de las inundaciones, las pérdidas económicas registradas anualmente en España en el período 1987-2001 llegaron a 745 millones de euros. Estas son el principal riesgo de la naturaleza en la España peninsular. Además, en el período 1995-2008 se registraron en la España peninsular alrededor de 897 víctimas mortales debidas a catástrofes naturales: 70 víctimas al año por término medio, siendo las inundaciones, las tormentas y los temporales marítimos los peligros naturales que más víctimas ocasionan en España (OLCINA CANTOS, 2009).

La precipitación en el mundo mediterráneo muestra un carácter compulsivo, nula durante muchos días y con elevada intensidad durante unas horas o minutos. Su carácter convectivo y torrencial, especialmente en la mitad cálida del año y hasta bien avanzado el otoño, explica la brevedad y, al mismo tiempo, la frecuente elevada intensidad de los chubascos.

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Ferhat Abbas Setif 1 (Argelia).

<sup>2</sup> Grupo de Climatología, Universidad de Barcelona (España)

Emails: [Hydr21@yahoo.fr](mailto:Hydr21@yahoo.fr); [jmartinvide@ub.edu](mailto:jmartinvide@ub.edu)

Los efectos de la alta concentración temporal de la precipitación se concretan, entre otros, en una alta erosividad del fenómeno sobre el suelo, más aún si se tienen en cuenta las débiles cubiertas vegetales de muchas comarcas; abundantes escorrentías súbitas, cuando no anegamientos e inundaciones rápidas (*flash floods*); una difícil gestión de los recursos hídricos, por la irregular entrada de agua en los sistemas hidráulicos; la imposibilidad de determinar el final de las sequías, etc.

### ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio la componen los sectores litorales de la cuenca del Mediterráneo occidental y las islas de tamaño considerable (las Baleares, Córcega, Cerdeña y Sicilia) dentro de la cuenca. Los observatorios meteorológicos considerados distan como máximo 42 km del mar Mediterráneo, y tienen una altitud igual o inferior a 220 metros, excepto el observatorio de Miliana (Argelia), con 715 m. Está comprendida entre punta de Tarifa y punta Cires, en el estrecho de Gibraltar, con una longitud de 5° W, y el cabo Bon y Marsala, en el canal de Sicilia, situado más allá de 10° E. Se extiende de sur a norte entre las latitudes 35° S y 45° N (figura 1). Está totalmente rodeada por relieves montañosos y salpicada de islas con una superficie considerable.

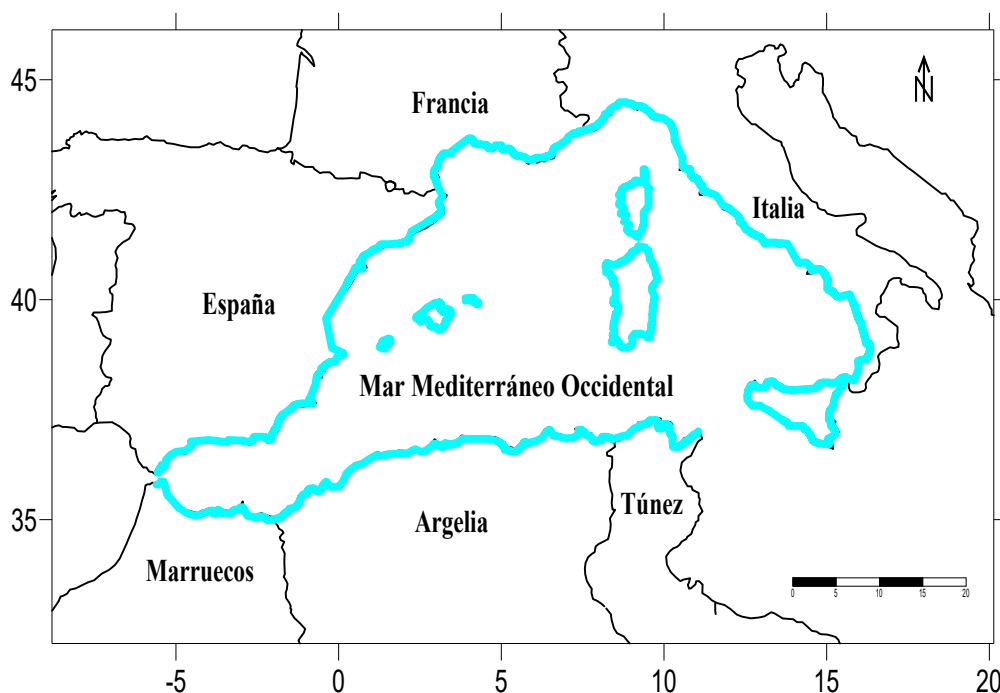


Figura 1. Mapa de localización geográfica del litoral Mediterráneo occidental.

La elevada y compleja orografía que rodea la cuenca del Mediterráneo occidental (las Béticas, los Pirineos, los Alpes marítimos, los Apeninos, los relieves insulares, el Atlas, el Rif, etc.) la singulariza climáticamente. En el litoral oriental de la Península Ibérica la estación más lluviosa no es el invierno, como corresponde al clima mediterráneo prototípico, sino el otoño. En muchos otros litorales el máximo es invernal (por ejemplo, en Nápoles, en Málaga, etc.). Los vientos del oeste no son húmedos en la costa este de España, sino terrales. Los vientos del este son húmedo en el citado litoral; en la costa occidental de Italia es al revés. La orientación de la costa, tan variada en el área de estudio (hay costas que miran al N, al S, al E, al W, etc.), produce una notable diversidad climática. La anomalía térmica positiva de las aguas de la cuenca, tras un largo verano, y la posición a sotavento de la Península Ibérica explicarían que el otoño sea mucho más lluvioso que el invierno en su fachada oriental. En otoño, la presencia de una “gota fría” o de aire frío en altura puede originar que las precipitaciones se vuelvan torrenciales, pudiendo provocar inundaciones (ESTRELA *et al.*, 2000; EGOZCUE & RAMIS, 2001; PEÑARROCHA *et al.*, 2002). Como se sabe, hay una relación entre la precipitación en la cuenca del Mediterráneo occidental y las anomalías de circulación atmosférica a gran escala en otoño y en otras estaciones (LUNA *et al.*, 2001; VALERO *et al.*, 2004). En particular, la precipitación otoñal e invernal en la fachada este de la Península Ibérica está relacionada con un patrón exclusivo de la cuenca occidental del Mediterráneo, la *Western Mediterranean Oscillation* (WeMO) (Martin-Vide and Lopez-Bustins, 2006). La relación existente entre la circulación atmosférica a gran escala y la precipitación en el máximo secundario de primavera ha sido poco analizada.

## DATOS Y METODOLOGIA

### Datos

Los 46 observatorios meteorológicos empleados en la presente investigación se encuentran repartidos de forma relativamente homogénea a lo largo de las tierras litorales de la cuenca del Mediterráneo occidental y de las islas Baleares, Córcega, Cerdeña y Sicilia (Figura 2). El periodo básico de análisis es el 1951-2010. Estos observatorios son gestionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de España, por Météo-France, por la Oficina Nacional de Meteorología de Argelia (ONM), y por el proyecto “*The European Climate Assessment & Dataset*” (ECA) ([http://eca.knmi.nl/countries/country\\_overview.php](http://eca.knmi.nl/countries/country_overview.php)). Las series de datos diarios de precipitación utilizadas son de gran calidad y completas, con ausencia total de huecos, en el caso de las gestionadas por Météo-France y de algunas gestionadas por el proyecto “*The European Climate Assessment & Dataset*” (ECA), como las de Cagliari, Catania Sigonella, Génova y Roma. Además, en el resto de las series, los datos disponibles superan el 90% del registro total, excepto el observatorio de Mahón, con 86,3%. En las series completas se encuentra el volumen máximo de datos diarios para el periodo 1951-2010, que es de 21,915 registros, mientras que, para el subperiodo 1981-2010, es de 10,957 registros.

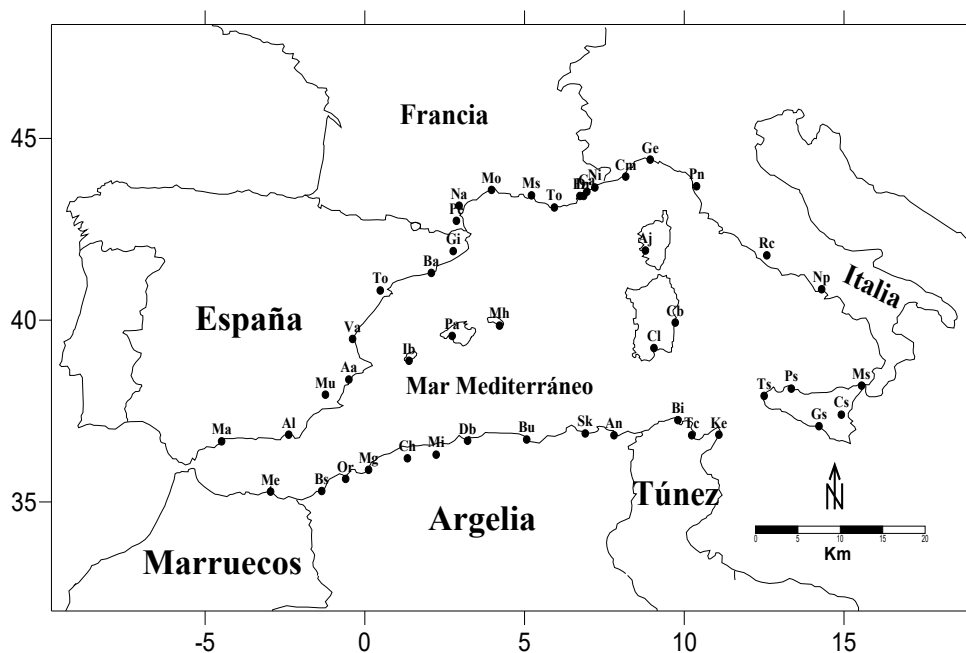


Figura 2. Situación geográfica de los observatorios meteorológicos en el área de estudio.

### Metodología

#### *Metodología para calcular los índices de concentración diaria de la precipitación*

Es sabido que la distribución de frecuencias de las cantidades diarias de precipitación es ajustable mediante curvas exponenciales negativas (BROOKS & CARRUTHERS, 1953), ya que existen muchos días con precipitaciones escasas, inferiores a 1 mm, y pocos con precipitaciones altas, descendiendo la frecuencia de forma exponencial. Con el objeto de evaluar la contribución relativa de los días más lluviosos, se ha seguido la metodología del índice de concentración diaria de la precipitación, o *Concentration Index* (CI) propuesta por MARTIN-VIDE (2004). El CI se utiliza para medir la irregularidad y la concentración de las precipitaciones diarias, determinando la contribución relativa de los días de lluvia a la cantidad total de lluvia. Es similar al índice de Gini aplicado a las llamadas en estadística curvas de Lorenz (GRAFTON *et al.*, 2012; CHOTIKAPANICH, 2008).

#### Los índices IG1 y CI1

Para el cálculo de los índices de concentración diaria de la precipitación a la resolución de 1 mm, se comienza clasificando las cantidades diarias de precipitación en clases de longitud 1 mm, comenzando por la [0,1-0,9], en orden creciente, [1,0-1,9], [2,0-2,9], etc. La distribución de frecuencias resultante muestra

claramente una forma exponencial negativa. A continuación, se procede de la forma que resume la figura 3, donde se presenta el ejemplo de Montpellier y Annaba (período 1951-2010).

La línea de equidistribución (un caso ideal) representaría una distribución de la precipitación diaria perfectamente regular. Los valores extremos ideales del IG1 son **0** (todas las cantidades diarias iguales) y **1** (un solo día de precipitación). El índice IG1 representa el tanto por uno del área comprendida entre la recta de equidistribución y la poligonal, y el área del triángulo inferior. Nótese que cuanto mayor sea el valor de IG1, más peso tendrán unos pocos días muy lluviosos en el total pluviométrico. La curva de concentración o de Lorenz de Montpellier muestra una separación alta respecto a la recta de equidistribución, lo cual indica una concentración notable de la precipitación diaria. La estación meteorológica de Montpellier representa a una región con una alta concentración diaria de las cantidades de lluvia, mayor que la estación de Annaba (Figura 3). Téngase en cuenta que en la estación meteorológica de Montpellier, el 10 % de los días más lluviosos aporta el 53 % de la precipitación total (el 90 % de los días que quedan representa el 47 %), y en la estación meteorológica de Annaba el 10 % de los días más lluviosos aporta el 43 % de la precipitación total (el 90 % de los días que quedan representa el 57 %).

Sin embargo, podemos perfeccionar las curvas de concentración o Lorenz de las estaciones meteorológicas de Montpellier y Annaba (Figura 3) sustituyendo las poligonales por las curvas exponenciales que mejor las ajustan (JOLLIFFE & HOPE, 1996). Los trabajos de RIEHL (1949), OLASCOAGA (1950), MARTIN-VIDE (2004) y WILKS, (2011) introdujeron el procedimiento de cálculo siguiente para el ajuste:

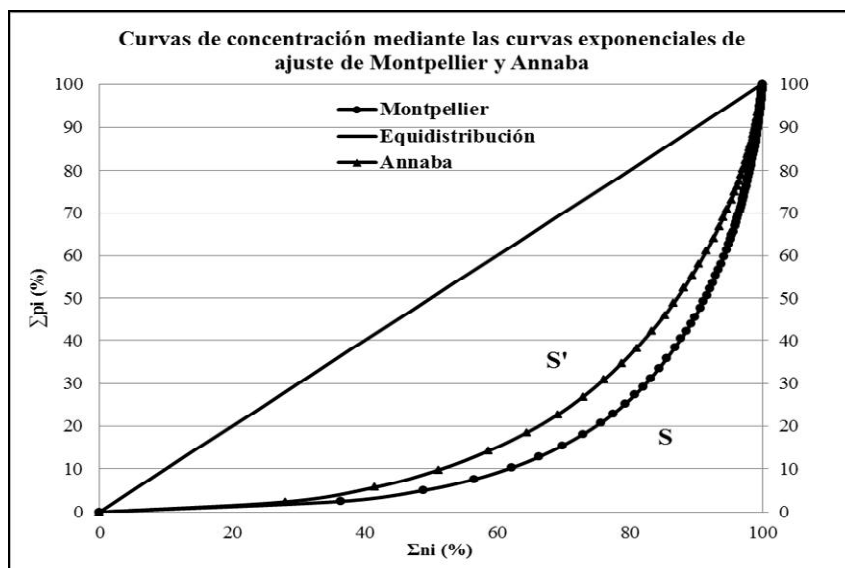
$$y = ae^{bx} \quad (1)$$

Las constantes **a** y **b** de la ecuación (1) pueden determinarse mediante mínimos cuadrados:

$$\ln a = \frac{\sum x_i^2 \sum \ln y_i + \sum x_i \sum x_i \ln x_i - \sum x_i^2 \sum \ln x_i - \sum x_i \sum x_i \ln y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{N \sum x_i \sum \ln y_i + \sum x_i \sum \ln x_i - N \sum x_i \ln x_i - \sum x_i \sum \ln y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

Siendo *N* el número de pares de valores.



**Figura 3.** Curvas de concentración mediante las curvas exponenciales de ajuste de Montpellier y Annaba para el período comprendido entre 1951 y 2010.

Una vez determinadas las dos constantes (**a**, **b**), la integral definida de la curva exponencial entre **0** y **100** muestra la superficie comprendida entre la curva, el eje de abscisas y  $X = 100$ , que equivale a lo siguiente:

$$S = \left[ \frac{a}{b} e^{bx} \left( x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100} \quad (4)$$

Así, se obtendrán los valores más elevados de  $S$  cuanto más se aproximen las curvas exponenciales a la recta de equidistribución. Como nuestro interés radica en evaluar la irregularidad o concentración pluviométrica diaria, es decir, la separación respecto a la recta de equidistribución, hay que restar **5000** (área del triángulo bajo la recta de equidistribución) y el valor obtenido en la ecuación (4), para así hallar el área comprendida entre la curva, la recta de equidistribución y la abscisa  $X=100$  ( $S'$ ). Con esta superficie (figura 3) puede definirse el **CI** de la siguiente manera:

$$CI = (5000 - S) / 5000 \quad (5)$$

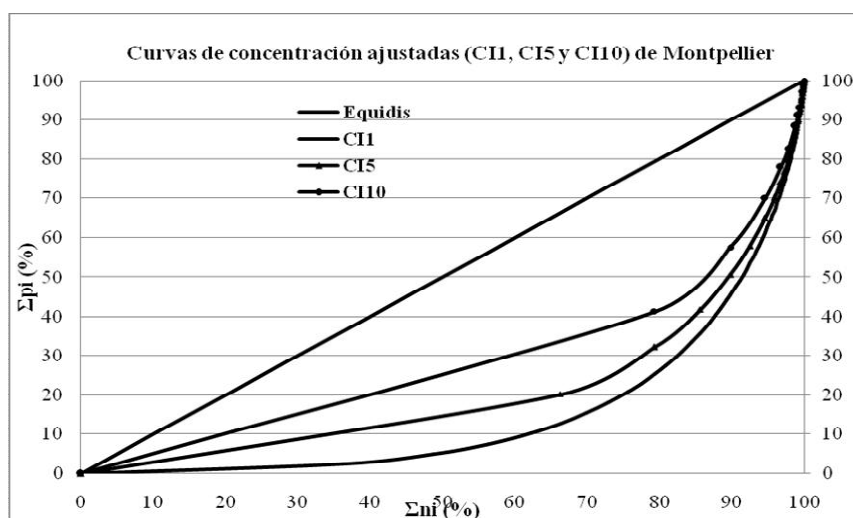
O simplemente:  $CI = S' / 5000$  (MARTIN-VIDE, 2004)

De esta forma, se obtendrán valores más elevados en las estaciones meteorológicas que presentan mayor concentración en la precipitación diaria. Según las ecuaciones 2, 3 y 5, Montpellier presenta los valores de  $a = 0,009$ ,  $b = 0,045$  y  $CI1 = 0,69$  y Annaba presenta los valores de  $a = 0,031$ ,  $b = 0,034$  y  $CI1 = 0,60$ .

El uso de clases de 1 mm de longitud para el cálculo de los índices IG1 y CI1 puede considerarse costoso, no por el tiempo de cálculo, hoy mínimo, sino por la demanda de datos diarios de alta resolución y calidad. En sí, el IG1 y CI1 son muy sensibles a la calidad de los datos. Cuando en un observatorio no se han considerado o no se han registrado las cantidades más pequeñas, de unas décimas de mm (excluidos los valores inapreciables), o se han juntado las cantidades de dos días consecutivos, los valores de IG1 y CI1 obtenidos resultan anómalos, en general inferiores a los que corresponderían si se hubieran contabilizado todos los datos diarios. En este caso, hay que prescindir del observatorio.

#### Los índices CI5 y CI10

La novedad metodológica del presente apartado respecto a MARTIN-VIDE (2004) es la elección de clases de 5 mm y de 10 mm de longitud en lugar de 1 mm. Esto puede facilitar la aplicación del procedimiento estadístico a estaciones pluviométricas secundarias, cuyas cantidades diarias de precipitación no han sido medidas con precisión o no siempre se han registrado. Con el mismo procedimiento de cálculo indicado anteriormente, pueden hallarse índices de concentración diaria en base a curvas exponenciales del mismo tipo (Figura 4) y clases de 5 mm, que se denominarán CI5, y de 10 mm, CI10. También podrán calcularse los índices de Gini, sobre los valores empíricos ( $X, Y$ ) de clases de 5 mm, que se denominarán IG5, y de 10 mm, IG10. Sin embargo, los índices IG5 e IG10, en especial el IG10, según se vio en el trabajo de BENHAMROUCHE & MARTIN-VIDE (2012), muestran un comportamiento discrepante de IG1, CI1, CI5 y CI10, por lo que han sido excluidos del presente estudio.



**Figura 4.** Curvas de concentración ajustadas mediante las curvas exponenciales de la estación de Montpellier, usando clases de 1, 5 y 10 mm, para el período 1951-2010 (a partir de datos de *Météo-France*).

Aplicada esta metodología a la estación meteorológica de Montpellier, la figura 4 presenta como ejemplo los cálculos y las curvas de concentración empírica y ajustada para el periodo 1951-2010. La estación meteorológica de Montpellier presenta en clases de 5 mm los valores de  $a = 0,02$ ,  $b = 0,038$  y  $CI5 = 0,64$  y en clases de 10 mm los valores de  $a = 0,035$ ,  $b = 0,033$  y  $CI10 = 0,59$ .

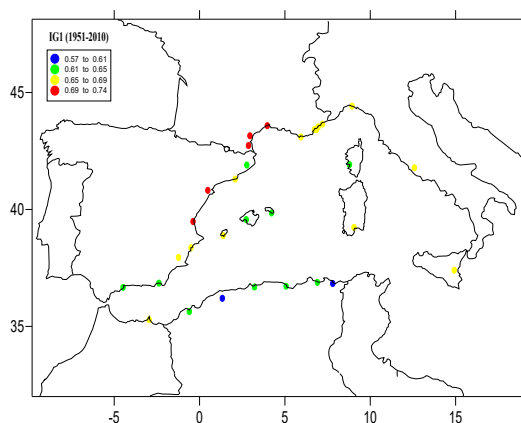
## RESULTADOS Y DISCUSION

### Distribución espacial de la concentración diaria según los diferentes índices y periodos

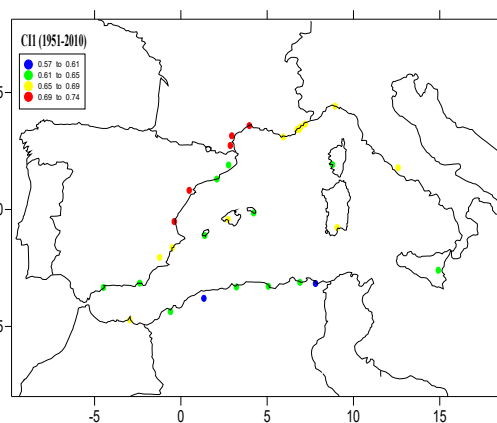
#### *La distribución espacial del índice de Gini IG1 y de CII, CI5 y CI10 en el periodo 1951-2010*

Los mapas 5, 6, 7 y 8, resultantes de la representación espacial de los valores de cada uno de los cuatro índices estudiados, mediante puntos de color, de los 31 observatorios en el periodo completo 1951-2010 no muestran grandes diferencias entre ellos, en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental. Las figuras 5 y 6 presentan una distribución espacial de los índices IG1 y CII que es muy parecida. Se observan pequeñas diferencias en los observatorios de Barcelona y Catania Sigonella, al ser levemente mayor el IG1 que el CII por una centésima. Por tal razón, los valores del CII de estos dos observatorios se incluyen en un intervalo menor  $[0,61$  a  $0,65[$  que el intervalo de IG1  $[0,65$  a  $0,69[$ , y cambian sus colores en el mapa correspondiente.

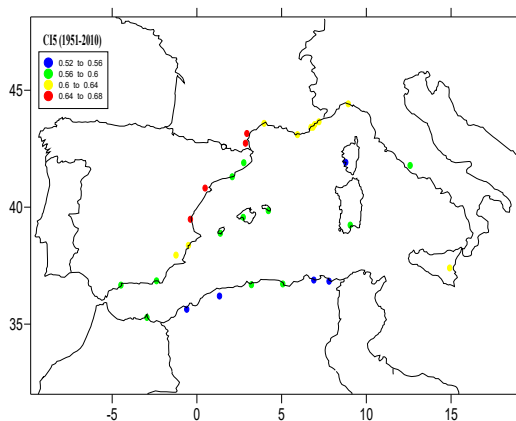
A partir de la distribución espacial de los valores de IG1 y CII se distinguen básicamente dos zonas, la primera es la ribera norte de la cuenca del Mediterráneo occidental, con valores elevados, en la que se observa que la mitad oeste de la costa mediterránea francesa (Narbona, Montpellier y Perpignan) y la región central de la costa mediterránea española (Valencia y Tortosa) presentan los valores más elevados de IG1 y CII, que oscilan entre 0,69 y 0,74, lo que indica que entre el 78 % y el 80 % del total de la lluvia cae en el 25 % de los días más lluviosos, perfectamente descrito en los mapas 5 y 6. Usándose el umbral de 0,61 para los índices de IG1 y CII, se discriminan las regiones con alta concentración de precipitación diaria y, por lo tanto, con precipitación altamente agresiva (MARTIN-VIDE, 2004). En general, un valor de 0,61 significa que el 25 % de los días lluviosos aporta el 70 % de la precipitación total y, más precisamente, el 10 % de los días más lluviosos representa el 40 % del total pluviométrico. Una segunda zona es la ribera sur del Mediterráneo occidental, con valores moderados, la cual abarca la costa argelina, en la que se registran los valores más bajos de IG1 y CII (Annaba y Chlef), que varían entre 0,57 y 0,61, lo que significa que entre el 69 % y el 70 % del total de la lluvia cae en el 25 % de los días más lluviosos, Estas son las regiones con más regularidad entre las cantidades de precipitación diaria de la zona de estudio. El resto de la cuenca del Mediterráneo occidental queda confinado, en cuanto a valores, entre la primera y la segunda zona.



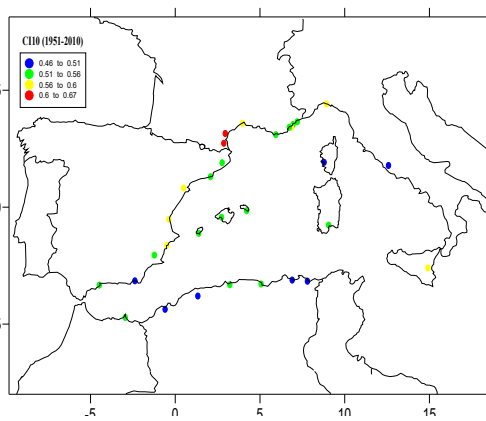
**Figura 5.** Distribución espacial del índice de Gini IG1 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental durante el periodo comprendido entre 1951 y 2010.



**Figura 6.** Distribución espacial del índice de concentración CII en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental durante el periodo comprendido entre 1951 y 2010.



**Figura 7.** Distribución espacial del índice de concentración CI5 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el periodo comprendido entre 1951 y 2010.



**Figura 8.** Distribución espacial del índice de concentración CI10 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el periodo comprendido entre 1951 y 2010.

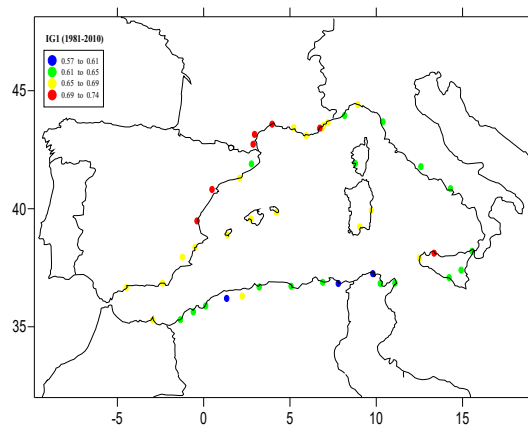
Las figuras 7 y 8 muestran la distribución espacial de los valores de los índices CI5 y CI10, respectivamente. Podemos observar una gran similitud entre dichas figuras. La única diferencia marcada en algunos observatorios, especialmente en la ribera norte del área de estudio (Roma, Almería, Murcia, Valencia, Tortosa, Fréjus, Cannes, Niza, etc.), viene justificada por el aumento de la longitud de las clases. Como al aumentar la longitud de las clases de los índices, disminuyen sus valores, es posible que cambie el intervalo de un índice a otro. Los valores elevados de los índices CI5 y CI10 siguen dominando en la ribera norte del área de estudio, mientras que los valores moderados se presentan en la ribera sur de la misma. La mitad oeste de la costa mediterránea francesa (Narbona, Montpellier y Perpignan) y la región central de la costa mediterránea española (Valencia y Tortosa) presentan los valores más elevados de CI5 y CI10, los cuales oscilan entre 0,64 y 0,68 (el 25 % de los días más lluviosos aporta entre el 73 % y el 75 % de la lluvia total) y entre 0,60 y 0,67 (el 25 % de los días más lluviosos aporta entre el 69 % y 71 % del total pluviométrico), respectivamente. En cambio, los valores más bajos de CI5 y CI10 se presentan en algunos sectores puntuales (la costa mediterránea argelina, Ajaccio, Almería y Roma).

A la vista del conjunto de los mapas presentados anteriormente, podemos decir que las distribuciones espaciales obtenidas para los valores de los cuatro índices distintos usados, para el periodo 1951-2010, son muy similares y reflejan claramente las distintas zonas, con alta o moderada concentración diaria de precipitación en el área de estudio, a pesar de que la longitud de las clases y el rango de valores son diferentes.

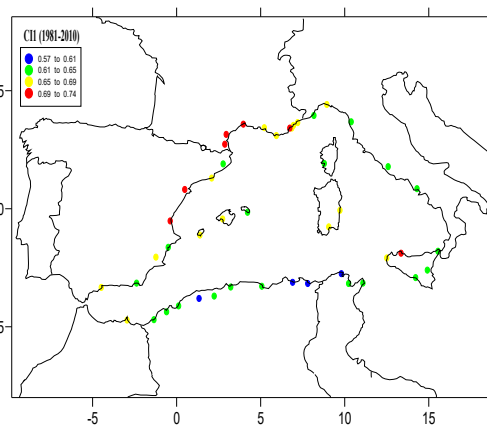
#### ***La distribución espacial del índice de Gini IG1 y de CII, CI5 y CI10 en el subperiodo 1981-2010***

Para el subperiodo 1981-2010, se han cartografiado en las figuras 9, 10, 11 y 12 los valores de los cuatro índices estudiados de los 46 observatorios. Estos mapas son muy parecidos. Se distingue básicamente una distribución espacial algo dispersa de los valores de los cuatro índices en el área estudiada, aunque pueden distinguirse bien las áreas y sectores con los valores más altos y más bajos.

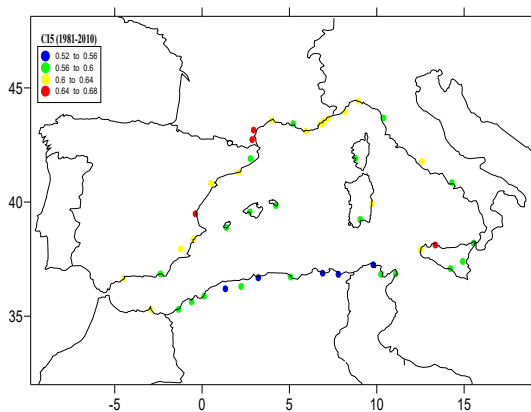
Las figuras 9 y 10 muestran la distribución espacial del IG1 y CII en clases de 1 mm, en las que se observan claramente las áreas con valores muy altos de la concentración diaria de precipitación, en el intervalo [0,69-0,74], que se localizan en la mitad oeste de la costa mediterránea francesa más la región de Fréjus, el sector central de la costa mediterránea española (Valencia y Tortosa) y el área de Palermo (Sicilia). En estas áreas, un alto porcentaje de la lluvia cayó en unos pocos días (por ejemplo, en Narbona, el 25 % de los días más lluviosos aportó el 82 % del total pluviométrico y el 10 % aportó el 54 %). Siguen los valores comprendidos entre 0,65 y 0,69, valores altos de la concentración diaria de la precipitación, presentes en la mitad este de la costa mediterránea francesa, el sur y una parte del sureste de la costa mediterránea española, el área de Barcelona, el norte de Marruecos (y la vecina Melilla), las islas de Ibiza, Mallorca, Menorca, Cerdeña y las áreas de Miliana, Génova y Trapani (Sicilia). Los valores intermedios, [0,61-0,65], son abundantes en la costa mediterránea italiana y argelina. Los valores más bajos se localizan en algunos tramos dispersos de la costa mediterránea africana (Bizerta, Annaba, Skikda y Chlef), con lluvias más regulares o menos concentradas.



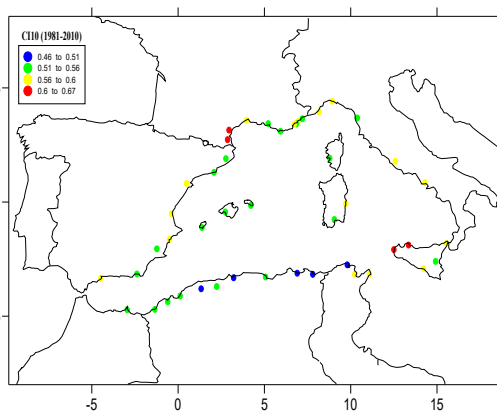
**Figura 9.** Distribución espacial del índice de Gini IG1 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperiodo comprendido entre 1981 y 2010.



**Figura 10.** Distribución espacial del índice de concentración CII en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperiodo comprendido entre 1981 y 2010.



**Figura 11.** Distribución espacial del índice de concentración CI5 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperiodo comprendido entre 1981 y 2010.



**Figura 12.** Distribución espacial del índice de concentración CI10 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperiodo comprendido entre 1981 y 2010.

Las figuras 11 y 12 muestran la distribución espacial del CI5 y CI10, en clases de 5 y 10 mm, respectivamente. A partir de ellas, pueden destacarse algunas pequeñas diferencias en los valores máximos (Valencia y Trapani, Sicilia) y en los valores altos de CI5 y CI10 en Tolón, Cannes, Niza, Nápoles, Mesina (Sicilia), Gela (Sicilia), Túnez-Cartago, Kélibia y Melilla, debido a que, si la longitud de las clases aumenta, el rango de los valores de los índices CI5 y CI10 disminuye, por lo tanto, puede cambiar el intervalo de valores muy alto y alto de un índice a otro. No obstante, el patrón de la distribución espacial de estos dos índices sigue conservando el mismo comportamiento de las figuras 9 y 10, es decir, la distribución espacial de los valores de los cuatro índices es muy similar en el conjunto de los cuatro mapas, a pesar de que la amplitud de las clases y el rango de valores de los índices son diferentes.

A partir del conjunto de los mapas de los cuatro índices, IG1, CII, CI5 y CI10, durante el subperiodo 1981-2010, la conclusión que se extrae es que, efectivamente, estamos ante unos resultados muy similares en toda el área de estudio.

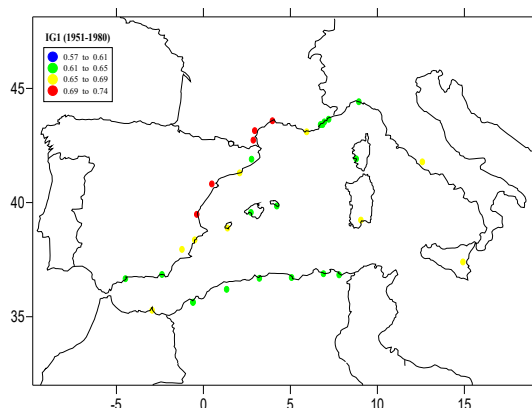
#### ***La distribución espacial del índice de Gini IG1 y de CII, CI5 y CI10 en el subperiodo 1951-1980***

La distribución en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental de los valores del índice de Gini (IG1) y de concentración diaria de la precipitación CII, CI5 y CI10, en el subperiodo 1951-1980, permite distinguir claramente unas áreas y sectores con los valores de los cuatro índices más altos y más bajos.

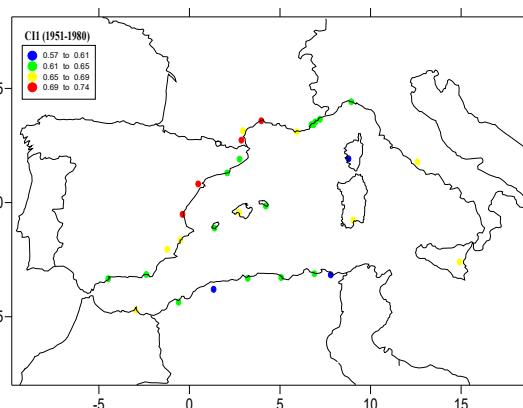
Las figuras 13 y 14 muestran la distribución espacial del IG1 y del CII en clases de 1 mm, en las que se observan claramente las regiones con los valores más altos de la concentración diaria de la precipitación, en el intervalo [0,69-0,74], localizándose en la mitad oeste de la costa mediterránea francesa y en el sector central de



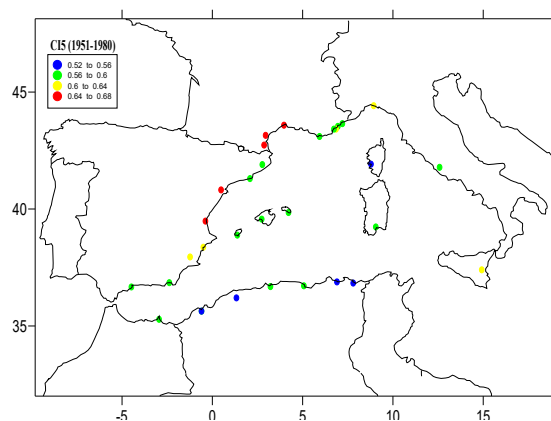
la costa mediterránea española (Valencia y Tortosa), donde una parte importante de la lluvia cae en unos pocos días (por ejemplo, en Montpellier el 25 % de los días más lluviosos aporta el 79 % del total pluviométrico y el 10 % aporta el 50 %). Los sectores con valores intermedios,  $[0,61-0,65[$ , son abundantes en el sur de la costa mediterránea española; la mitad este de la costa mediterránea francesa, y a lo largo de la costa argelina. Los valores que podrían considerarse bajos no se observan en la figura 13, mientras que en la figura 14 aparecen en algunos lugares puntuales (Annaba, Chlef y Ajaccio). La ausencia de estos valores en la figura 13 y su aparición en la figura 14 no es relevante, siendo debida a que el IG1 supera al CII por una centésima, por eso los valores del CII se han clasificado en otro intervalo menor,  $[0,57$  a  $0,61[$ , que en el caso del intervalo de IG1,  $[0,61$  a  $0,65[$ . En Palma de Mallorca ocurre, al revés de lo habitual,  $IG1 < CII$ , por eso el valor de CII se ha clasificado en un intervalo mayor,  $[0,65$  a  $0,69[$ , que el intervalo de IG1,  $[0,61$  a  $0,65[$ .



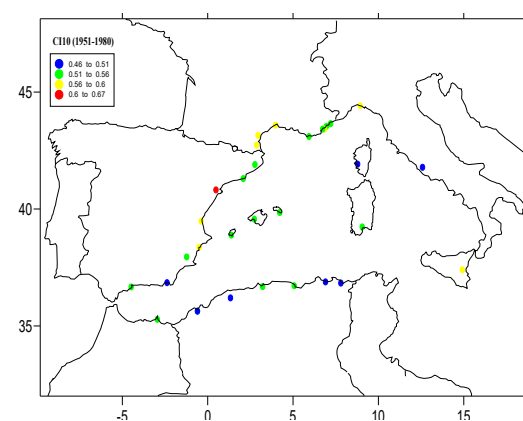
**Figura 13.** Distribución espacial del índice de Gini IG1 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperíodo comprendido entre 1951 y 1980.



**Figura 14.** Distribución espacial del índice de concentración CII en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperíodo comprendido entre 1951 y 1980.



**Figura 15.** Distribución espacial del índice de concentración CI5 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperíodo comprendido entre 1951 y 1980.



**Figura 16.** Distribución espacial del índice de concentración CI10 en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental en el subperíodo comprendido entre 1951 y 1980.

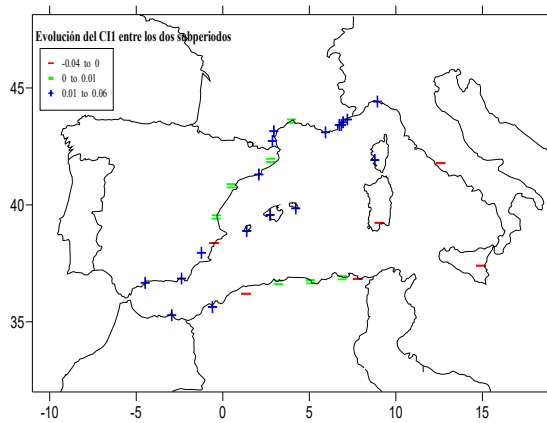
Respecto a las figuras 15 y 16, que presentan los valores de los índices CI5 y CI10, en el subperíodo de análisis, destacan algunas diferencias en las áreas que tienen los valores extremos (máximos y mínimos), mientras que los valores intermedios,  $[0,61$  a  $0,65]$ , presentan una localización similar. Estas pequeñas diferencias se explican por el aumento de la longitud de las clases, dado que, si aumenta la longitud de las clases de los índices, disminuyen los valores de los índices, pudiendo, por tanto, cambiar el intervalo de un índice a otro.

En conjunto, los mapas de IG1, CII, CI5 y CI10 de los tres periodos estudiados en este trabajo son muy parecidos a los hallados por MARTIN-VIDE (2004), SANCHEZ LORENZO & MARTIN-VIDE (2006) y BENHAMROUCHE & MARTIN-VIDE (2012) para la Península Ibérica. Los valores más elevados de CII, para el período completo, son los de Perpiñán y Narbona (0,71), seguidos por los de Montpellier, Valencia y Tortosa,

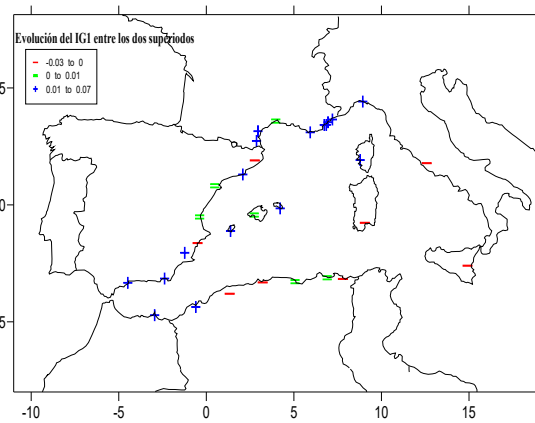
que son de 0,69, y Cagliari, Tolón, Fréjus, Le Dramont y Murcia, de 0,67, por lo que se puede concluir que en la costa mediterránea francesa se hallan los valores más elevados del CI1, junto con la parte central de la franja oriental ibérica, ya intuidos en los trabajos de Cortesi *et al.* (2012) y de Martin-Vide (1987). En consecuencia, de estos resultados puede rechazarse la idea de que los valores de la concentración diaria de la precipitación son más elevados en la ribera africana que en la europea.

### Variación espacial de la concentración diaria entre los subperiodos 1951-1980 y 1981-2010

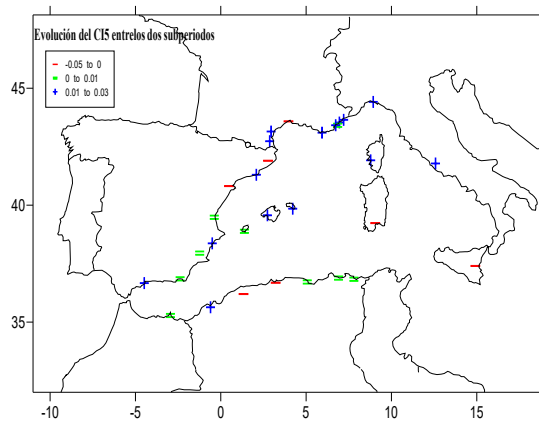
Con respecto a la variación de la concentración diaria entre el primer y el segundo subperiodo, se han realizado los mapas de las diferencias, positivas o negativas, entre los cuatro índices (figuras 17, 18, 19 y 20). A la vista de los mapas de diferencias del CI1 y del IG1, muy parecidos, donde simplemente se representa las observatorios con aumento de la concentración diaria (+), con disminución de la concentración diaria (-) y sin variación (=), se aprecia que las áreas con aumentos de la concentración diaria de la precipitación al pasar del primer al segundo subperiodo se localizan en el norte, en la parte central y en el sector suroeste del Mediterráneo occidental. En cambio, las áreas con disminución de la concentración diaria se sitúan en la parte este y en algunos sectores de la costa argelina. Las áreas sin variación de la concentración diaria se localizan en sectores y lugares puntuales del golfo de Valencia, en Bugía y en Annaba (Argelia). Este resultado coincide con lo observado por BENHAMROUCHE & MARTIN-VIDE (2012) para la Península Ibérica en el periodo 1951-2010.



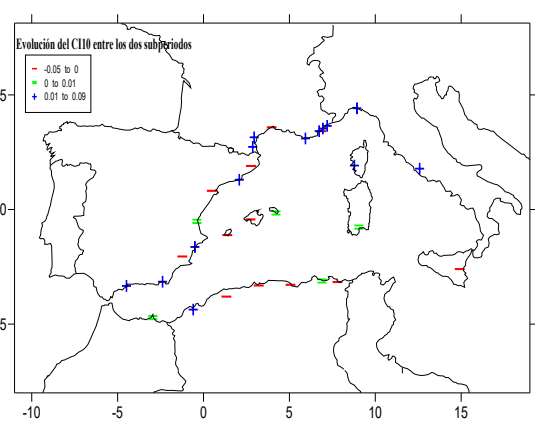
**Figura 17.** Evolución del CI1 entre los subperiodos 1951-1980 y 1981-2010.



**Figura 18.** Evolución del IG1 entre los subperiodos 1951-1980 y 1981-2010.



**Figura 19.** Evolución del CI5 entre los subperiodos 1951-1980 y 1981-2010.



**Figura 20.** Evolución del CI10 entre los subperiodos 1951-1980 y 1981-2010.

Sin embargo, los mapas de la variación entre los subperiodos del CI5 y CI10 marcan algunas diferencias en comparación con los mapas de CI1 e IG1, pero confirman el predominio de aumentos de la concentración diaria de la precipitación, aunque con un porcentaje un poco menor que los de los CI1 e IG1. Se observan las zonas con aumentos predominantes en la parte norte y el oeste del área de estudio y en algunos observatorios del centro de la cuenca. En cambio, las áreas con disminución y sin variación dominan la parte este y sur del área de estudio, respectivamente, además de algunos observatorios dispersos en el centro de la misma.

## CONCLUSION

La concentración diaria de la precipitación es una variable climática de gran interés en cuanto a que expresa la irregularidad de los valores de la precipitación diaria y, especialmente, la concentración o acumulación de la precipitación en unos pocos días. Los índices de concentración, que permiten evaluarla con precisión, pueden analizarse estadísticamente y correlacionarse con otras variables pluviométricas. Además, estos índices de concentración son indicadores útiles de la capacidad erosiva de la precipitación, del riesgo de inundación, de su torrencialidad, etc.

La concentración diaria de la precipitación en la costa mediterránea francesa y la franja oriental de la España peninsular es, a la luz de los estudios disponibles, elevada, con valores del índice de Gini (IG1) y del índice de concentración (*Concentration Index*, CI1) que superan en varios observatorios 0,70 y llegan a aproximarse en alguno a 0,73, lo que refleja el hecho de que unos pocos días muy lluviosos aportan un elevado porcentaje de la precipitación anual (el 25 % de los días más lluviosos aporta hasta el 82 % del total pluviométrico).

Los valores máximos de los cuatro índices de concentración diaria de precipitación usados en el litoral de la cuenca del Mediterráneo occidental se encuentran a lo largo de la franja costera oriental de España y del litoral del sur de Francia, mientras que los valores más bajos se localizan en la franja costera africana.

Si en lugar de usar clases de 1 mm de longitud para el cálculo del índice de concentración (CI1) o del correspondiente índice de Gini (IG1), se emplean clases de 5 mm (CI5) y de 10 mm (CI10), los mapas de CI5 y CI10 son muy parecidos a los realizados con clases de 1 mm. Aunque el rango de valores es diferente, y se cumplen, además, las desigualdades  $CI1 > CI5 > CI10$ , los cuatro índices, CI1, CI5, CI10 e IG1, están alta y significativamente correlacionados, con coeficientes de correlación de Pearson en general superiores a +0,70, estadísticamente significativos, e incluso cercanos a 1, en el caso de CI1 e IG1. En consecuencia, no hay objeción para emplear clases de 5 y 10 mm y los índices CI5 y CI10, en el análisis de la concentración diaria, que pueden permitir el estudio de algún observatorio sin precisión en el registro de las décimas de precipitación. Desde un punto de vista metodológico, podrán admitirse como buenos los valores de los índices de concentración CI5 y CI10 de los observatorios sin una gran precisión en el registro de las décimas de precipitación, aunque con los registros completos o casi completos, dado que habrá pocas asignaciones erróneas de valores entre clases, al ser estas relativamente escasas. En cambio, los índices de Gini con clases de 5 y 10 mm introducen considerables sesgos, por lo que no deben emplearse.

Al pasar del subperíodo 1951-1980 al 1981-2010, la concentración diaria de la precipitación, según la mayoría de los índices usados, ha aumentado en un número sustancial de observatorios.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha realizado en el marco de los proyectos PRECABAL (CGL2011-29263-C02-01) y WEMOTOR (CSO2014-55799-C2-1-R) del Ministerio de Economía y Competitividad de España, del Grupo de Climatología (2014SGR300) de la Generalitat de Catalunya y del Institut de Recerca de l'Aigua (UB).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENHAMROUCHE, A. & MARTIN-VIDE, J. (2011). "Distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación en la provincia de Alicante". *Investigaciones Geográficas*. 56 : 113-129. Instituto Interuniversitario de Geografía (Universidad de Alicante).
- BENHAMROUCHE, A. & MARTIN-VIDE, J. (2012). "Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España Peninsular". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Madrid). 32, 1 : 11-27
- BENHAMROUCHE, A.; BOUCHERF, D.; HAMADACHE, R.; BENDAHMANE, L.; MARTIN-VIDE, J. & TEIXEIRA NERY, J. (2015). Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Algeria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 15 : 617-625
- BENHAMROUCHE, A. & MARTIN-VIDE, 2017. Évolutions de la concentration des précipitations journalières sur les littoraux du bassin méditerranéen occidental (1951-2010), *Physio-Géo*, 11-1 : 107-127.
- BROOKS, C.E.P. & CARRUTHERS, N. (1953). "Handbook of Statistical Methods in Meteorology". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. London: Meteorological Office.
- CHOTIKAPANICH, D. (Ed.) (2008): *Modeling Income Distributions and Lorenz Curves*, New York, Springer.
- CORTESI, N.; GONZALEZ-HIDALGO, J. C., BRUNETTI, M. & MARTIN-VIDE, J. (2012). "Daily precipitation concentration across Europe 1971-2010". *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 12, 9 : 2799-2810
- DE LUIS, M.; GONZALEZ-HIDALGO, J. C. & SANCHEZ, J. R. (1996). "Análisis de la distribución espacial de la concentración diaria de precipitaciones en el territorio de la Comunidad Valenciana". *Cuadernos de Geografía*. 59 : 47-62
- EGOZCUE, J. J. & RAMIS, C. (2001). "Bayesian hazard analysis of heavy precipitation in eastern Spain". *International Journal of Climatology*. 21, 10 : 1263-1279
- ESTRELA, M.; PEÑARROCHA, D.; PASTOR, F. & MILLAN, M. (2000). Torrential events on the Spanish Mediterranean coast (Valencian region): spatial precipitation patterns and their relation to synoptic circulation. In *Mediterranean Storms. Proceedings of the EGS Plinius Conference*. Bios: Cosenza : 97-106.

- GRAFTON, P, NELSON, H & LAMBIE, R, (2012): *A Dictionary of Climate Change and the Environment: Economics, Science, and Policy*. Edward Elgar Publishing Ltd., Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA, p. 423.
- GUILLÓ, A. M. & PUIGSERVER, M. (1970). "Sobre las contribuciones relativas de las precipitaciones local y generalizada a la precipitación total en Cataluña". *Revista de Geofísica*, XXIX, 3 : 205-216.
- JOLLIFFE, I. T. & HOPE, P. B. (1996). "Representation of daily rainfall distributions using normalized rainfall curves". *International Journal of Climatology*. 16, 10 : 1157-1163
- LUNA, M. Y.; MARTIN, M. L.; VALERO, F. & GONZALEZ-ROUCO, F. (2001). "Wintertime Iberian Peninsula precipitation variability and its relation to North Atlantic atmospheric circulation". *Detecting and Modelling Regional Climate Change and Associated Impacts*. Springer Berlin Heidelberg. Part III : 369-376
- MARTIN-VIDE, J. (1987). *Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica*. [Tesis doctoral]. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Institut Cartogràfic de Catalunya.
- MARTIN-VIDE, J. (2004). "Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain". *International Journal of Climatology*. 24, 8 : 959-971.
- MARTIN-VIDE, J. and LOPEZ-BUSTINS, J.A. (2006): The Western Mediterranean Oscillation and Iberian Peninsula Rainfall. *International Journal of Climatology* 26, (11) : 1455-1475.
- MARTIN-VIDE, J. (2013): Daily concentration of precipitation in peninsular Spain. A map of torrential rainfall risk, in C. García-Legaz and F. Valero (Eds), *Adverse weather in Spain*, 149-161, A.M.V. Ediciones, WCRP Spanish Committee-Comité Español.
- OLASCOAGA, M. J. (1950). "Some aspects of Argentine rainfall". *Tellus*. 2, 4 : 312-318
- OLCINA CANTOS, J. (2009). "Cambio climático y riesgos climáticos en España". *Investigaciones Geográficas*. 49 : 197-220 pp. Instituto Universitario de Geografía - Universidad de Alicante.
- PEÑARROCHA, D.; ESTRELA, M. J. & MILLAN, M. (2002). Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: the Valencia region. *International Journal of Climatology* 22: 677-695.
- RIEHL, H. (1949). "Some aspects of Hawaiian rainfall". *Bulletin of the American Meteorological Society*. 30, 5 : 176-187
- SÁNCHEZ-LORENZO, A. & MARTIN-VIDE, J. (2006). "Distribución espacial de la concentración pluviométrica diaria en la Península Ibérica". *5ª Asamblea Hispano-portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Sevilla.
- VALERO, F.; LUNA, M. Y.; MARTIN, M. L.; MORATA, A. & GONZALEZ-ROUCO, F. (2004). "Coupled modes of large-scale climatic variables and regional precipitation in the western Mediterranean in autumn". *Climate Dynamics*. 22, 2-3 : 307-323. DOI: 10.1007/s00382-003-0382-9.
- WILKS, D.S. (2011) : *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press.