



**REGIONALIZACIÓN PLUVIOMÉTRICA DE ANDALUCÍA.  
ANÁLISIS DE SU RED DE OBSERVACIÓN  
PARA LA GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL**



*Doctoranda:* **Mónica Aguilar Alba** *Directora:* **M<sup>a</sup> Fernanda Pita López**

*Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional.*

*Facultad de Geografía e Historia*

**Sevilla 2015**

*A mi padre, Marina y Silvio que iluminaron mi vida*

## INDICE

<b>Agradecimientos</b>	
<b>Resumen</b> .....	1
<b>Abstract</b> .....	3
<b>CHAPTER 1</b> .....	<b>5</b>
1. Introduction .....	6
2. Objectives .....	8
3. Structure of the thesis and fundamental content by chapter .....	10
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.1. Introducción, objetivos y estructura de la tesis.....	16
1.2. Importancia del estudio de la precipitación en Andalucía .....	16
1.3. Contexto científico e interés para la gestión ambiental .....	19
1.4. Objetivos y estructura de la tesis .....	24
1.4.1.    Objetivos .....	25
1.4.2.    Estructura de la tesis .....	26

## PRIMERA PARTE. ZONA DE ESTUDIO Y FUENTES DE INFORMACIÓN

<b>CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO Y FUENTES DE INFORMACIÓN</b> .....	<b>35</b>
2.1. Marco geográfico	
2.2. Características pluviométricas generales .....	38
2.3. Elección de los datos de precipitación para la investigación.....	41
2.4. Fuentes de información pluviométrica.....	42
2.4.1.    Agencia Estatal de Meteorología .....	43
2.4.2. <i>Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal</i> .....	45
2.4.3.    Otras fuentes.....	45
2.5. Tratamiento inicial de la información y bases de datos disponibles .....	45
2.5.1.    Depuración del banco de datos de la AEMET y SNIRH .....	48
2.5.2.    La base de datos MOPREDAS .....	51
2.5.3.    Base de datos para la regionalización pluviométrica .....	51
2.6. OTRAS fuentes de información y programas informáticos .....	52

## SEGUNDA PARTE. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

<b>CAPÍTULO 3. CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS Y REGIONALIZACIÓN</b> .....	<b>61</b>
3.1. Introducción. Dificultad de precisar los conceptos de clasificación y regionalización .....	62
3.2. Clasificaciones y regionalizaciones en Climatología. Breve aproximación histórica.....	66
3.2.1. Los orígenes de las grandes clasificaciones mundiales (s. XIX- 1945).....	67
3.2.2. La revolución cuantitativa en la climatología geográfica (1945-1970) .....	70
3.2.2.1. Consideraciones generales en el seno de la geografía física .....	74
3.2.2.2. Una etapa difícil para la climatología geográfica .....	77

3.2.3.Desde los años 70 hasta la actualidad .....	81
3.2.3.1. La preocupación medioambiental en climatología.....	82
3.2.3.2. El presente de las clasificaciones y regionalizaciones climáticas .....	84
<b>3.3.¿Es lo mismo clasificar que regionalizar? .....</b>	<b>89</b>
3.3.1.Dimensión geográfica de estos conceptos .....	91
3.3.2.Fundamentos básicos de las clasificaciones climáticas .....	96
3.3.2.1. Singularidad de los sistemas de clasificación .....	99
3.3.3.Una mirada desde otras disciplinas.....	102
3.3.4.Concepto y utilización actual de estos términos .....	107
3.3.5.Regionalización y climatología regional.....	111
<b>3.4.Consideraciones geográficas sobre las regionalizaciones climáticas .....</b>	<b>114</b>
3.4.1.La escala de trabajo .....	114
3.4.2.Cartografía y representación espacial .....	120
3.4.3.El problema de las fronteras espaciales .....	123
3.4.4.Importancia de las redes de medición climática .....	125
3.4.5.Regionalizar es, a pesar de su aparente objetividad, un proceso subjetivo.....	127
<b>3.5.Conclusiones sobre las regionalizaciones climáticas.....</b>	<b>130</b>
<b>CAPÍTULO 4. MÉTODOS DE REGIONALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....</b>	<b>141</b>
<b>4.1. Introducción a los métodos de regionalización en climatología .....</b>	<b>142</b>
4.1.1.Técnicas multivariantes .....	144
4.1.1.1.Análisis de conglomerados .....	149
4.1.1.2.El Análisis de Componentes Principales .....	153
4.1.1.3.Regionalización en múltiples pasos .....	158
4.1.2.Consideraciones sobre las técnicas de regionalización de la precipitación .....	161
4.1.3.Nuevas aproximaciones .....	164
4.1.3.1.Análisis de conglomerados temporal .....	164
4.1.3.2.Análisis de componentes principales y conglomerados espaciales.....	166
4.1.3.3.Inteligencia artificial y aprendizaje de máquinas.....	167
<b>4.2. Estado de la cuestión sobre los estudios de regionalización en España .....</b>	<b>170</b>
4.2.1.Regionalizaciones pluviométricas objetivas.....	174
4.2.2.Regionalizaciones pluviométricas de Andalucía .....	177
4.2.2.1.Aportaciones realizadas por organismos públicos .....	177
4.2.2.2.Regionalizaciones en el ámbito académico .....	180
<b>4.3. Consideraciones finales.....</b>	<b>187</b>

## TERCERA PARTE. METODOLÓGÍA

<b>CAPÍTULO 5. RESENTACIÓN METODOLÓGICA GENERAL.....</b>	<b>201</b>
<b>5.1. Introducción.....</b>	<b>202</b>
<b>5.2. Líneas metodológicas de la investigación .....</b>	<b>204</b>
5.2.1.El análisis de la red de observación pluviométrica .....	205
5.2.1.1.Análisis histórico .....	206
5.2.1.2.Las redes de observación meteorológica actuales .....	208
5.2.2.Regionalización pluviométrica de Andalucía .....	210
<b>5.3. Aplicación práctica de la investigación a la gestión ambiental.....</b>	<b>211</b>
5.3.1.Evaluación de la red activa según la calidad de las series.....	212



5.3.2.Representatividad de la red actual según los criterios de la OMM .....	213
<b>5.4. Esquema general de nuestra investigación.....</b>	<b>215</b>

## **CAPÍTULO 6. ELECCIÓN METODOLÓGICA ..... 217**

<b>6.1. Introducción y justificación metodológica.....</b>	<b>219</b>
6.1.1.Análisis de conglomerados versus análisis de componentes principales .....	220
6.1.2.Ventajas del análisis de conglomerados .....	222
6.1.3.Limitaciones del análisis de conglomerados .....	224
<b>6.2. Consideraciones sobre los datos de entrada y su tratamiento.....</b>	<b>226</b>
6.2.1. Consideraciones generales.....	227
6.2.1.1.Autocorrelación espacial .....	228
6.2.1.2.Escala y órdenes de magnitud de las mediciones.....	229
6.2.1.3..Estructura temporal de las series .....	230
6.2.1.4.Normalidad de los datos y funciones de distribución de las variables .....	232
6.2.1.5.Valores atípicos y ausentes.....	233
6.2.2.Los datos de precipitación mensual en nuestra investigación.....	233
<b>6.3. El análisis de conglomerados.....</b>	<b>235</b>
6.3.1.Elección del tipo de análisis de conglomerados.....	235
6.3.2.Análisis exploratorio metodológico .....	251
6.3.2.1.Análisis exploratorio sobre el efecto de los datos de entrada .....	252
6.3.2.2.Análisis exploratorio metodológico sobre el clúster jerárquico .....	254
<b>6.4. Elección de la metodológica final.....</b>	<b>256</b>

## **CUARTA PARTE. RESULTADOS**

### **CAPÍTULO 7. LAS REDES DE OBSERVACIÓN PLUVIOMÉTRICA EN ANDALUCÍA..... 267**

<b>7.1.Introducción .....</b>	<b>268</b>
<b>7.2. Estudio histórico de la red estatal y su configuración .....</b>	<b>269</b>
7.2.1.El marco histórico general y las primeras mediciones climáticas .....	270
7.2.2.Evolución de la red de observación en Andalucía.....	274
7.2.2.1.Primer etapa. Los inicios de la observación meteorológica (1800-1910) .....	278
7.2.2.2.Segunda etapa. La creación de la red de observación (1911-1950) .....	286
7.2.2.3.Tercera Etapa. La expansión y consolidación (1951-1960).....	292
7.2.2.4.Cuarta etapa. El esplendor (1961-1985).....	298
7.2.2.5.Quinta etapa. Crisis y aparición de nuevas redes (1985-2012) .....	302
<b>7.3. Las redes actuales de observación pluviométrica en Andalucía.....</b>	<b>311</b>
7.3.1.Introducción: el subsistema CLIMA.....	312
7.3.2. Las redes de la Agencia Estatal de Meteorología.....	319
7.3.2.1.Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) .....	320
7.3.2.2.Red de Estaciones Principales.....	321
7.3.2.3.Red de Estaciones Secundarias.....	322
7.3.3. Administración Autonómica. Redes de la Junta de Andalucía .....	323
7.3.3.1. Consejería de Medio Ambiente .....	323
7.3.3.2. Consejería de Agricultura y Pesca .....	329
7.3.4. Las Confederaciones Hidrográficas: el Sistema Automático de Información Hidrológica.....	333
7.3.5. Universidades y Centros de Investigación.....	337
7.3.6.Otros observatorios. Redes privadas .....	344

7.4.Conclusiones .....	348
------------------------	-----

## **CAPITULO8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EXPLORATORIO METODOLÓGICO..... 359**

<b>8.1. Resultados del análisis exploratorio para la elección metodológica</b>	
8.1.1.Análisis exploratorio sobre el efecto de los datos de entrada .....	362
8.1.1.1.Valoración del periodo de estudio y número de estaciones .....	363
8.1.1.2.Efecto de la estacionalidad de las series de precipitación.....	369
8.1.1.3.Inclusión de nuevas variables .....	372
8.1.1.4.Valoración de las pruebas.....	376
8.1.2.Análisis exploratorio metodológico sobre el cluster jerárquico .....	377
8.1.2.1.Diferentes distancias de similitud entre elementos .....	379
8.1.2.2.Diferentes tipos de algoritmos de agrupamiento.....	388
8.1.2.3.Análisis de componentes principales y cluster .....	398
<b>8.2.Selección metodológica final.....</b>	<b>401</b>
8.2.1.Presentación general .....	402
8.2.2.Caracterización de las zonas .....	406
8.3.Comparación con otras regionalizaciones.....	417

## **CAPITULO 9. REPRESENTATIVIDAD DE LA RED DE MEDICIÓN ACTUAL SEGÚN LA PROPUESTAS DE REGIONALIZACIÓN PLUVIOMÉTRICA PARA ANDALUCÍA ..... 423**

<b>9.1. La representatividad de las redes de medición climática .....</b>	<b>424</b>
9.1.1.¿Qué entendemos por representatividad de la red de estaciones? .....	425
9.1.2.Importancia de la representatividad de la red en los estudios climáticos.....	428
<b>9.2. Representatividad de la red pluviométrica de Andalucía según la OMM .....</b>	<b>429</b>
<b>9.3. Evaluación de la red activa según la calidad de series de precipitación .....</b>	<b>433</b>
9.3.1.Estado actual el número de lagunas de las series pluviométricas .....	436
9.3.2.Estado actual según la longitud .....	437
9.3.3.Estado actual según el número de lagunas y la longitud .....	440
<b>9.4. Regionalización, representatividad y estado actual de la red pluviométrica .....</b>	<b>446</b>
<b>9.5. Hacia una optimización de la red de observación pluviométrica .....</b>	<b>451</b>
<b>9.6. Reconocimiento de las redes de medición en el contexto de cambio climático.....</b>	<b>455</b>

## **QUINTA PARTE. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS**

<b>CAPITULO 10. ....</b>	<b>461</b>
10.1. Conclusiones .....	463
10.2. Perspectivas futurasluviométrica de Andalucía según la OMM .....	474

<b>CAPITULO 11.BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>477</b>
CAPITULO 1.....	478
CAPITULO 2.....	480
CAPÍTULO 3.....	485
CAPÍTULO 4.....	493
CAPÍTULO 5.....	503
CAPÍTULO 6.....	504
CAPÍTULO 7.....	509

<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>516</b>
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>518</b>
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>520</b>

## **ANEXOS**

<b>ANEXO 1. Resultados completos del análisis exploratorio sobre los datos de entrada</b>	
<b>ANEXO 2. Resultados completos del análisis exploratorio sobre la elección metodológica</b>	
<b>ANEXO 3. Códigos en lenguaje R empleados en los cálculos de los análisis</b>	
<b>ANEXO 4. Resumen estadístico de la regionalización en cinco zonas</b>	
<b>ANEXO 5. Descripción estadística de la regionalización en nueve zonas</b>	
<b>ANEXO 6. Resumen estadístico de la regionalización en nueve zonas</b>	
<b>ANEXO 7. Aplicaciones y casos prácticos sobre regionalizaciones y redes de referencia climáticas</b>	

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO 2

Tabla 1.2. Estaciones de la base de datos para la regionalización pluviométrica.....	51
--	----

## CAPÍTULO 3

Tabla 1.3. Resultado de las búsquedas en Google Académico de estudios climáticos encontrados a partir de los términos regionalización y clasificación.....	109
Tabla 2.3. Correspondencia entre las escalas geográficas y climáticas .....	118
Tabla 3.3. Sistema de clasificación jerárquica de ecosistemas, a diferentes escalas espaciales.....	119

## CAPÍTULO 4

Tabla 1.4. Algunos ejemplos de regionalizaciones realizadas mediante análisis cluster según sus .....	152
Tabla 2.4. Algunos ejemplos de regionalizaciones realizadas mediante ACP/Cluster según sus objetivos publicados a partir del año 2000.....	160
Tabla 3.4. Comparación métodos de clasificación estadísticos y de aprendizaje de máquinas.....	168
Tabla 4.4. Principales aportaciones a las regionalizaciones en España .....	176

## CAPÍTULO 6

Tabla 1.6. Consideraciones sobre los datos de entrada en los procesos de regionalización. ..	227
--	-----

## CAPÍTULO 7

Tabla 1.7. Número de observatorios medio y total al final de cada etapa .....	277
Tabla 2.7. Estaciones de los centros territoriales de Andalucía.....	290
Tabla 3.7. Número de estaciones pluviométricas por décadas desde 1940.....	295
Tabla 4.7. Principales redes de observación meteorológica integradas en el CLIMA.....	316
Tabla 5.7. Estaciones automáticas de la AEMET (activas en 2013) por provincias.....	320
Tabla 6.7. Estaciones principales de la AEMET (activas en 2013) por provincias. ....	321
Tabla 7.7. Estaciones secundarias de la AEMET (activas en 2013) por provincias. ....	322
Tabla 8. 8. Estaciones de la red SIVA (activas en 2013) por provincias. ....	325
Tabla 9.7. Estaciones de la red EARM (activas en 2013) por provincias. ....	328
Tabla 10.7. Estaciones de la red RIA (activas en 2013) por provincias. ....	330
Tabla 11.7. Estaciones de la red RAIF (activas en 2013) por provincias. ....	333
Tabla 12.7. Estaciones meteorológicas automáticas del CSIC en Doñana.....	339
Tabla 13.7. Estaciones del Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC) .....	340
Tabla 14.7. Variables que miden las estaciones de la Dirección General de Tráfico. ....	345

## CAPÍTULO 8

Tabla 1.8. Interpretación de los valores del índice medio de Jaccard según Henning .....	361
Tabla 2.8. Procedimiento del análisis cluster empleado en las pruebas 1 y 2.....	364
Tabla 3.8. Zonas pluviométricas identificadas en las pruebas 1 y 2. ....	369
Tabla 4.8. Procedimiento del análisis clúster empleado en la prueba 3.....	370
Tabla 5.8. Procedimiento del análisis clúster empleada en la prueba 4.....	373
Tabla 6.8. Estaciones y fuente de información de los análisis. ....	378
Tabla 7.8. Procedimiento del análisis clúster empleada en la prueba 5a.....	380
Tabla 8.8. Procedimiento del análisis cluster empleada en la prueba 7.....	388
Tabla 9.8. Procedimiento del análisis cluster empleada en la prueba 8.....	391
Tabla 10.8. Procedimiento del análisis cluster empleada en la prueba 9.....	394
Tabla 11.8. Valores de los diez primeros componentes principales. ....	399

## CAPÍTULO 9

Figura 1.9. Conexión entre temáticas y procesos climáticos. ....	427
Figura 2.9. Unidades fisiográficas de Andalucía.....	431
Figura 3.9. Unidades fisiográficas según la densidad pluviométrica de la OMM. ....	432
Figura 4.9. Densidad de estaciones óptimas pluviométricas según la OMM. ....	433
Figura 5.9. Estaciones pluviométricas activas en Andalucía (hasta 2012). ....	435
Figura 6.9. Clasificación de las estaciones activas según el porcentaje de lagunas.....	437
Figura 7.9. Clasificación de las estaciones según la longitud de sus series.....	439
Figura 8.9. Clasificación de las estaciones actuales según su calidad.....	440
Figura 9.9. Clasificación de las estaciones según los tres criterios de representatividad.....	444
Figura 10.9. Regionalización pluviométrica en cinco regiones y densidad de la OMM. ....	448
Figura 11.9. Regionalización pluviométrica en nueve regiones y densidad de la OMM. ....	449
Figura 12.9. Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 5 zonas. .....	450
Figura 13.9. Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 9 zonas. .....	451
Figura 14.9. Cobertura espacial de las estaciones pluviométricas de la base de datos MOPREDAS, según los criterios de densidad de la OMM. ....	453
Figura 15.9. Estaciones de la red SAIH, RIA, RAIF y AEMET (menos de un 10% de lagunas) ....	454

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Áreas pluviométricas homogéneas establecidas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía .....	21
---	----

## CAPÍTULO 2

Figura 1.2. Ámbito de estudio. Andalucía y zonas limítrofes.....	37
Figura 2.2. Figura XX: Demarcaciones Hidrográficas en Andalucía.....	38
Figura 3.2. Estaciones pluviométricas de la AEMET para nuestra investigación. ....	44
Figura 4.2. Estaciones del Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos en nuestra investigación.....	45
Figura 5.2. Descripción de las fuentes de información y su integración en la investigación.....	48
Figura 6.2. Depuración del banco de datos de precipitación de la AEMET en Andalucía.....	49
Figura 7.2. Estaciones eliminadas en el proceso de depuración del banco de datos AEMET.....	50
Figura 8.2. Banco de datos depurado de la AEMET para Andalucía. ....	50
Figura 9 .2. Estaciones empleadas en la regionalización pluviométrica de Andalucía. ....	52
Figura 10.....	58

## CAPÍTULO 3

Figura 1.3. Métodos taxonómicos para resolver los problemas de regionalización.....	96
Figura 2.3. Ejemplo de los fenómenos micro, local, meso y macroclimáticos según Yoshino 1961.....	116
Figura 3.3. Esquema de las escalas climáticas .....	117

## CAPÍTULO 4

Figura 1.4. Ejemplo de una propiedad con buena capacidad de discriminación*.....	148
Figura 2.4. Etapas en el análisis de conglomerados.....	151
Figura 3.4. Aplicación del ACP sobre datos espaciales.....	155
Figura 4.4. Análisis de componentes principales (ACP) en las ciencias atmosféricas y su visualización espacial-empírica de las Funciones Ortogonales (EOF) (ACP espacial)*. ....	157
Figura 5.4. Ilustración de la metodología empleada para la regionalización, basada en la aplicación de PCA y CA. ....	159
Figura 7.4. Análisis geográfico de conglomerados.....	167
Figura 8.4. Inteligencia artificial y campos relacionados .....	168
Figura 9.4. Delimitación de la “Iberia húmeda” e “Iberia seca” según diversos autores. ....	173
Figura 10.4. Mapa de áreas de pluviometría homogénea en Andalucía .....	178
Figura 11.4. Regiones geográficas con características meteorológicas en territorio andaluz (Selección sobre la división para la España Peninsular).....	179

Figura 12.4. Áreas afines de precipitación diaria en la España mediterránea resultante de un proceso de regionalización superpuesta (20 grupos). .....	181
Figura 13.4. Regionalización pluviométrica de Andalucía de Argüeso y otros (2011). .....	182
Figura 14.4. Clasificación regional de los climas de Andalucía. ....	184
Figura 15.4. Clasificación comarcal de los climas de Andalucía .....	185

## CAPÍTULO 5

Figura 1.5. Esquema de las dos líneas metodológicas de la investigación. ....	205
Figura 2.5. Esquema del proceso de análisis de la evolución de la red de medición pluviométrica. ....	207
Figura 3.5. Esquema del proceso de análisis de la red de medición pluviométrica actual. ....	209
Figura 4.5. Esquema del proceso de elección metodológica para la regionalización. ....	211
Figura 5.5. Esquema del proceso de valoración de la representatividad de la red en función de la calidad de las series según la regionalización obtenida. ....	213
Figura 6.5. Esquema del proceso de valoración de la representatividad de la red en función de la calidad de las series según la regionalización obtenida. ....	214
Figura 7.5. Esquema de la valoración de la representatividad de la red pluviométrica actual según la regionalización obtenida y los criterios de la OMM. ....	214
Figura 8.5. Esquema general del proceso metodológico de nuestra investigación. ....	215

## CAPÍTULO 6

Figura 1.6. Finalidad del análisis de conglomerados. ....	235
Figura 2.6. Diferencias entre el análisis de conglomerados jerárquico (dendrograma) y no jerárquico en sus formas de representación. ....	237
Figura 3.6. Representación gráfica de análisis de conglomerados jerárquico (dendrograma) y no jerárquico. ....	238
Figura 4.6. Etapas en la clasificación jerárquica. ....	239
Figura 5.6. Alguno de los métodos de enlace (linkage) que utilizan diferentes distancias de proximidad. ....	244
Figura 6.6. Cálculo de la distancia del enlace promedio (Average linkage, AL) y del enlace completo (Complete linkage, CL). ....	245
Figura 7.6. Criterios de calidad en el análisis visual del dendrograma. ....	247
Figura 8.6. Dendrograma y gráfico de sedimentación (scree test) para determinar el número de clusters. ....	248
Figura 9.6. Esquema de la primera fase exploratoria sobre el efecto de los datos de entrada en la realización del análisis de conglomerados. ....	253
Figura 10.6. Esquema de la segunda fase exploratoria sobre el proceso metodológico del cluster jerárquico. ....	255

## CAPÍTULO 7

Figura 1.7. Real Observatorio de la Isla de León (Principios del s.XIX). .....	272
Figura 2.7. Evolución de pluviómetros españoles (1850-2005). Número de estaciones y Distancia mínima media entre estaciones (MDA) en km.....	274
Figura 3.7. Número de observatorios en Andalucía en el tiempo. ....	275
Figura 4.7. Etapas establecidas en la evolución de la red según el número de estaciones desde 1900 hasta 2012 .....	277
Figura 5.7. Frontispicio del Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar (1846-1850) de Pascual Madoz.....	279
Figura 6.7. Mapa de localización de las garitas meteorológicas y pluviométricas en Gibraltar. ....	280
Figura 7.7. El mapa de los puntos donde se hacían observaciones meteorológicas regulares en España el año 1891. Se efectuaban por diversos organismos responsables, la mayoría Institutos de Enseñanza Media. ....	281
Figura 8.7. Los aprovechamientos forestales en las Sierras de Cazorla, Segura y las Villas. Operarios forestales apilando trozas para su transporte mediante teleférico forestal. ....	283
Figura 9.7. Vista panorámica del Real Observatorio de la Armada en 1928.....	284
Figura 10.7. Estaciones pluviométricas en el periodo (1800-1910).....	285
Figura 11.7. Profesiones de la red de colaboradores en 1917.....	287
Figura 12.7. Obras de construcción de infraestructuras hidráulicas. ....	289
Figura 13.7. Estaciones meteorológicas durante el periodo 1911-1950 .....	291
Figura 14.7. Evolución del regadío andaluz.....	294
Figura 15.7. Estaciones meteorológicas durante el periodo 1951-1960. ....	295
Figura 16.7. Número de estaciones con denominaciones hidrológicas por periodos .....	297
Figura 17.7. Modelos y antigüedad de los regadíos andaluces. ....	297
Figura 18.7. Estaciones activas durante el periodo 1961-1985. ....	299
Figura 19.7. Número de estaciones con denominación agrícola por periodos.....	301
Figura 20.7. Estaciones que cesan durante el periodo 1961-1985. ....	302
Figura 21.7. Estaciones activas durante el periodo 1985-2012. ....	303
Figura 22.7. Estaciones que cesan en el periodo 1985-2012. ....	304
Figura 23.7. Evolución histórica de los regadíos andaluces de iniciativa pública .....	306
Figura 24.7. Evolución histórica de los regadíos andaluces con aguas subterráneas.....	307
Figura 25.7. Evolución del personal propio del Servicio meteorológico (laboral y funcionarios) .....	308
Figura 26.7. Visor del subsistema CLIMA. ....	314
Figura 27.7. Estaciones meteorológicas automáticas integradas en el CLIMA.....	317
Figura 28.7. Estaciones meteorológicas manuales integradas en el CLIMA .....	318
Figura 29.7. Estaciones automáticas de la AEMET integradas en el CLIMA.....	320
Figura 30.7. Estaciones principales de la AEMET integradas en el CLIMA. ....	321
Figura 31.7. Estaciones secundarias de la AEMET integradas en el CLIMA .....	323
Figura 32.7. Estaciones de la red SIVA. ....	326
Figura 33.7. Estaciones de la Red EARM. ....	327
Figura 34.7. Estaciones de la Red RIA. ....	330
Figura 35.7. Estaciones SIAR en Andalucía.....	331



Figura 36.7. Estaciones de la Red RAIF.....	333
Figura 37.7. Instrumentos en las estaciones de la red SAIH.....	335
Figura 38.7. Estaciones de la red SAIH con información pluviométrica tal como aparecen en el visor SIG SAIH. ....	336
Figura 39.7. Estaciones de la red SAIH según la información obtenida en nuestra investigación. ....	337
Figura 40.7. Estaciones de Universidades y centros de investigación. ....	338
Figura 41.7. Visión global de la nueva estación radiométrica de la PSA.....	341
Figura 42.7. Datos disponibles en la web de la Torre meteorológica de Palomares. ....	342
Figura 43.7. Instrumentos en las estaciones del Programa de Seguimiento del Cambio Global en Parques Naturales. ....	343
Figura 44.7. Estaciones de la Dirección General de Tráfico en Andalucía. ....	346
Figura 45.7. Ubicación de las estaciones integradas en Meteoclimatic en Andalucía (20/09/2015). ....	347

## CAPÍTULO 8

Figura 1.8. Esquema de la primera fase exploratoria sobre el efecto de los datos de entrada en la realización del análisis de conglomerados. ....	363
Figura 2.8. Pruebas para valorar el efecto de la extensión temporal y tamaño de la base de datos de precipitación.....	364
<b>Figura 3.8. Dendrograma de la prueba 1 (Periodo 1951-2008).</b> ....	365
Figura 4.8. Dendrograma de la prueba 1 (Periodo 1971-2000). ....	366
Figura 5.8. Resultados del índice medio de Jaccard para las pruebas 1 y 2.....	367
Figura 6.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 1 (1951-2008). ..	368
Figura 7.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 2 (1951-2008). ..	368
Figura 8.8. Pruebas para valorar el efecto de la extensión temporal y tamaño de la base de datos de precipitación.....	370
<b>Figura 9.8. Dendrograma de la prueba 3 (Periodo 1971-2000) sin incluir el verano.</b> ....	371
Figura 10.8. Resultados del índice medio de Jaccard para las prueba 3.....	371
Figura 11.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 3 (1971-2000). 372	
Figura 12.8. Matrices de correlación de las pruebas 3 y 4.....	374
Figura 13.8. Dendrograma de la prueba 4 correspondiente al número de días de precipitación. ....	375
Figura 14.8. Representación espacial de los grupos correspondientes al número de días de precipitación al mes (Prueba 4). ....	375
Figura 15.8. Resultados del índice medio de Jaccard para las prueba 4.....	376
Figura 16.8. Esquema de la segunda fase exploratoria en el proceso metodológico del cluster jerárquico. ....	379
Figura 17.8. Dendrograma de la prueba 5a. ....	381
Figura 18.8. El gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 5a.....	381
Figura 19.8. Resultados espaciales de las divisiones en el dendrograma de la prueba 5a. (Distancia euclídea y agrupamiento según el método de Ward).....	383
Figura 20.8. Dendrograma de la prueba 5b. ....	384
Figura 21.8. El gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 5b.....	385

Figura 22.8. Resultados espaciales de las divisiones en el dendrograma de la prueba 5b.....	386
Figura 23.8. Dendrograma de la prueba 6 correspondiente a la distancia de Mahalanobis....	387
Figura 24.8. Representación espacial de los grupos resultantes de aplicar la distancia de Mahalanobis (Prueba 4).....	387
Figura 25.8. Pruebas de la segunda fase exploratoria del proceso metodológico sobre los procedimientos de agrupamiento del clúster jerárquico. ....	388
Figura 26.8. Dendrograma de la prueba 7 correspondiente al método del vecino más lejano como medida de agrupamiento.....	389
Figura 27.8. Gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 7.....	389
Figura 28.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 8 de aplicar el método de agrupamiento complete linkage (Prueba 7).....	390
Figura 29.8. Dendrograma de la prueba 8 correspondiente a la distancia media como medida de agrupamiento.....	391
Figura 30.8. El gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 8.....	392
Figura 31.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 8 al emplear el método de agrupamiento average linkage (AL).....	393
Figura 32.8. Dendrograma correspondiente a la prueba empleando el 9.....	395
Figura 33.8. Gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 9.....	396
Figura 34.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 9. ....	397
Figura 35.8. Dendrograma correspondiente a la prueba 10.....	399
Figura 36.8. Gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 10.....	400
Figura 37.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 10. ....	401
Figura 38.8. Comparativa de las medidas de distancia empleadas entre las distintas estaciones analizadas.....	401
Figura 39.8. Agrupación de las estaciones en la regionalización pluviométrica de Andalucía en cinco regiones. ....	402
Figura 40.8. Agrupación de las estaciones en la regionalización pluviométrica de Andalucía en nueve regiones. ....	404
Figura 41.8. Regionalización pluviométrica de Andalucía en cinco regiones. ....	406
Figura 42.8. Regionalización pluviométrica de Andalucía en nueve regiones.....	407
Figura 43.8. Caracterización estadística de la región 1 atlántica.....	409
Figura 44.8. Caracterización estadística de la región 2. Andalucía central, sur y costa mediterránea.....	410
Figura 45.8. Caracterización estadística de la región 3. Interior de Andalucía y cordillera Subbética.....	412
Figura 46.8. Caracterización estadística de la región 4. Zona oriental interior de los Sistemas Béticos.....	414
Figura 47.8. Caracterización estadística de la región. Sudeste subdesértico. ....	416
Figura 48.8. Comparación de nuestra propuesta de regionalización pluviométrica con las de Romero et al. (1999) y Argüeso (2011). ....	418
Figura 49.8. Mapa de áreas de pluviometría homogénea en Andalucía. ....	420

## CAPÍTULO 9

Figura 1.9. Conexión entre temáticas y procesos climáticos. ....	427
Figura 2.9. Unidades fisiográficas de Andalucía.....	431
Figura 3.9. Unidades fisiográficas según la densidad pluviométrica de la OMM. ....	432
Figura 4.9. Densidad de estaciones óptimas pluviométricas según la OMM. ....	433
Figura 5.9. Estaciones pluviométricas activas en Andalucía (hasta 2012). ....	435
Figura 6.9. Clasificación de las estaciones activas según el porcentaje de lagunas.....	437
Figura 7.9. Clasificación de las estaciones según la longitud de sus series.....	439
Figura 8.9. Clasificación de las estaciones actuales según su calidad*.....	440
Figura 9.9. Clasificación de las estaciones según los tres criterios de representatividad* .....	444
Figura 10.9. Regionalización pluviométrica en cinco regiones y densidad de la OMM. ....	448
Figura 11.9. Regionalización pluviométrica en nueve regiones y densidad de la OMM. ....	449
Figura 12.9. Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 5 zonas .....	450
Figura 13.9. Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 9 zonas .....	451
Figura 14.9. Cobertura espacial de las estaciones pluviométricas de la base de datos MOPREDAS, según los criterios de densidad de la OMM. ....	453
Figura 15.9. Estaciones de la red SAIH, RIA, RAIF y AEMET (menos de un 10% de lagunas) ....	454

## CAPÍTULO 10

Figura 1.10: Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 5 zonas .....	468
Figura 2.10: Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 9 zonas .....	469
Figura 3.10: Estaciones de la red SAIH, RIA, RAIF y óptimas AEME .....	471
Figura 4.10: El papel de la observaciones climáticas dentro del Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC) y en el apoyo de la investigación .....	473

## AGRADECIMIENTOS

Soy afortunada de poder trabajar en el Departamento de Geografía de la Universidad de Sevilla, institución pública en la que creo y donde ha transcurrido mi vida laboral permitiéndome disfrutar de un sinfín de recompensas personales. Debo agradecer esta suerte a la confianza que la profesora María Fernanda Pita López depositó en mi cuando finalicé mis estudios y comenzó mi vida académica. Seguramente, sin ella, mi vida hubiese sido muy distinta, algo por lo que siempre le estaré eternamente agradecida. Aprendí este oficio, el buen hacer y casi todo lo que sé de climatología de la mano de una gran profesional.

A Daniel por haber creído desde el principio en este proyecto además de hacer posible el resto de mi vida.

Este trabajo jamás habría visto la luz sin “mi equipo de salvamento”, lo más hermoso de todo este proceso: mi madre, Daniel, el tito Horacio, la tita Raquel, Esperanza, Noela, tito Javi y María. Con una generosidad, entrega y abnegación a los que difícilmente podrían hacer justicia estos humildes agradecimientos.

El azar hizo que la primera casa que pisé al nacer fuera la de Catedrática de Economía Aplicada en la Unidad Docente e Investigadora de Estadística de la Universidad Autónoma de Madrid, Pilar Martín-Guzmán Conejo, a la que quiero agradecer su ayuda con mis dudas estadísticas y la supervisión de los capítulos metodológicos y los resultados estadísticos de esta investigación.

Durante todos estos años trabajar con Arturo Sousa, Leoncio García Barrón y Mark Vetter ha sido un privilegio por su calidad científica y humana, así como por toda su ayuda durante estos años.

A mi compañero de las andanzas climáticas Juan Mariano Camarillo, por contar conmigo en tantas ocasiones y por su amistad.

A Leandro del Moral Ituarte, por haberme dado la oportunidad de trabajar en él y disfrutar de su magisterio y generosidad.

A Enrique Santos y Lola Valera, por su cariño incondicional y complicidad.

A Belén Pedregal, Rosalía Bejarano, Rafael Cámara, Florencio Zoido y Pablo Fraile, por su apoyo y ayuda en tantas ocasiones.

Joaquín Márquez, José Álvarez e Ismael Vallejo, por su compañerismo y haber compartido tantos buenos momentos juntos.

José Carlos González Hidalgo por su generosidad cediéndome la base de datos MOPREDAS y por toda su ayuda en el aprendizaje de ProclimDB.

Juan Sánchez Moreno Técnico SAIH del Guadalquivir por su estimable ayuda con los datos de este organismo y la consulta de documentación.

A Mariano Corzo, siempre dispuesto a atender amablemente y con rapidez mis consultas año tras año sobre los datos climáticos.

No sería posible explicar lo que ha supuesto para mí el haber tenido a Alonso Salas Machuca como maestro y amigo, responsable de la música en mi vida.

Por último a Monique, Horacio, Pepa, Esperanza, Concepción, Luis Santos y Fernando por toda una vida de amistad.

A los que dejaron en mi corazón su luz, cariño y apoyo para siempre: M<sup>a</sup> Carmen Martín Aguilar, Christiane Decallet, Concha Aubeyzon, Manolo Mejías y Manuel León.

A los cuidaron mi salud con su amistad y sabiduría: Chusa, Alicia, Perla, Ángeles, Eva León y Fernando de la Portilla.

## RESUMEN

Andalucía, por su localización y características geográficas, es una región de gran complejidad climática, especialmente en cuanto a su régimen pluviométrico. La precipitación, por ser una de las magnitudes climáticas más variables que existen, presenta mayores dificultades para su estudio, y ello es particularmente notable en los climas mediterráneos.

Son escasas las investigaciones dedicadas a las clasificaciones y las regionalizaciones climáticas de Andalucía, pues aunque existen muchos trabajos que analizan el comportamiento pluviométrico de la región, pocos abordan la dimensión espacial. Las clasificaciones climáticas han demostrado ser un instrumento eficaz para la comprensión de las complejas variaciones del clima, al aportar un esquema de síntesis cuyo objetivo principal es identificar regiones con patrones de comportamiento similar. En esta investigación hemos llevado a cabo dos propuestas de regionalización pluviométrica de Andalucía, identificando zonas homogéneas de variabilidad y caracterizando cada una de ellas, lo que nos ha permitido conocer la diversidad de regímenes existentes en la región, adentrarnos en la comprensión de su comportamiento y en los factores explicativos que los determinan.

Por primera vez se obtiene una regionalización pluviométrica de Andalucía a escala mensual, ya que otras propuestas anteriores fueron obtenidas a escala diaria (Argüeso *et al.*, 2011 y Romero *et al.*, 1999). Otra de las particularidades de estos resultados es que están basados en la base de datos MOPREDAS (González-Hidalgo *et al.*, 2011) una red muy densa de estaciones de alta calidad. Para evitar los problemas de *borde* al aplicar los procedimientos de regionalización y hacer una correcta identificación de las regiones, se han ampliado los límites del área de estudio más allá de las fronteras administrativas de Andalucía incorporando estaciones de Extremadura, Castilla-La Mancha, Murcia y Portugal.

La preocupación actual por el cambio climático hace que sean este tipo de investigaciones destinadas a conocer, describir y caracterizar el comportamiento espacial de la precipitación a escala regional, sean cada vez más necesarias, principalmente donde los modelos climáticos presentan mayores dificultades en la simulación del clima debido al aumento de la variabilidad de los elementos climáticos, a esta resolución espacial.

A pesar del gran avance de los estudios climáticos basados en las estaciones meteorológicas, no disponemos de un sistema de observación del clima que responda a las necesidades actuales. La información existente se ve afectada, en muchos casos, por las diferentes formas de gestionar y tomar las observaciones de los organismos responsables de quienes dependen. Estas redes instrumentales fueron en su mayoría

creadas para otros fines como la agricultura, y no para el seguimiento del clima a largo plazo, por lo que a la hora de estudiar el cambio climático (Vose, 2005) existen muchos problemas de carácter práctico en el uso de estos datos.

En Andalucía la red de observación pluviométrica histórica está experimentando un deterioro progresivo desde los años setenta y que continúa en la actualidad. Esto supone una grave pérdida de información, especialmente en el caso de estaciones con series históricas o en emplazamientos de especial relevancia, como las zonas aéreas o de montañas, con escaso número de observatorios. Esta situación hace que cada vez sean más frecuentes las llamadas a crear nuevos sistemas de observación, específicamente diseñados y gestionados para la vigilancia del clima que garanticen un mínimo de calidad o bien a la consolidar una red de referencia formada por estaciones espacialmente representativas, seleccionadas entre las que ya existen, objetivos que se pueden alcanzar llevando a cabo regionalizaciones climáticas.

Por esta razón, otro objetivo de nuestra tesis ha sido analizar el *banco de información pluviométrica histórica y actual* de Andalucía, a fin de evaluar su representatividad, la información que aportan estas redes y su capacidad para satisfacer los requisitos de vigilancia del clima. Únicamente así, podremos avanzar en la evaluación de los futuros impactos de los cambios del clima en nuestra región, garantizada por una red básica de observación de referencia óptima que permita cumplir los objetivos regionales del *Programa de Adaptación al Cambio Climático*.

El uso de regionalizaciones climáticas aplicadas a la gestión medioambiental, basadas en trabajos científicos, sigue siendo todavía muy escaso. De ahí que la identificación de las características climáticas específicas por subregiones, pueda proporcionar una nueva base de información dirigida a la formulación de políticas para la gestión del agua o para la planificación socioeconómica en sectores directamente influenciados por el clima, como la agricultura, la energía, el turismo, etc.

## ABSTRACT

Andalusia is a region of great climatic complexity, especially in terms of rainfall, due to its location and geographical features. Rainfall, as one of the most variable climatic magnitudes, is also one of the most difficult to study, this being particularly true in the Mediterranean climates, which are themselves particularly prone to considerable variability. All this makes research based on the study of rainfall in the Mediterranean region especially useful. At the present time, when the climate and climate change have become one of greatest challenges to humankind, taking on this type of research, designed to discover, describe and define the spatial behaviour of rainfall, is more necessary than ever

In Andalusia, the enormous spatial-temporal variability of rainfall requires the availability of an observation network that is dense enough to cover this extensive territory as homogeneously as possible, while at the same time being able to depict a wide range of climate regimes. The region has at its disposal an extraordinary wealth of information on rainfall and diverse measurement networks, all of which creates optimum conditions for this type of study.

This intrinsic difficulty of climate research increases when we take into account that at both regional and international level the land-based measurement networks are deteriorating considerably. Climate research continues to be based on instrumental data, so the consequences of the loss of information resulting from this deterioration are very serious, since it limits our ability to follow changes in the climate system.

This provides the context for my research, which focuses on carrying out a study of the various instrumental networks and rainfall measurement stations in Andalusia, with the aim of describing their historical evolution and analysing their spatial and temporal coverage. Another idea, which underpins this aim, is the relationship between the historical information provided by these existing networks and the future observation network. However, it is not possible to evaluate to what extent these networks are, or will be, representative and how well they are able to satisfy climate assessment requirements without first carrying out a study of the spatial variability of rainfall. For this reason, objective classification techniques are employed to develop a regionalization of rainfall as a way of understanding and identifying spatial patterns. Only in this way can progress be made in the evaluation of our observation networks, with the aim of guaranteeing an optimum reference network that enables the fulfilment of the regional objectives laid out in the *Adaptation Programme to Climate Change* in Andalusia.

At the same time, the use of climatic regionalization based on scientific research in environmental management remains very scarce. The problem is that there is no method that is globally accepted by climatologists and that the procedures used



present certain difficulties, although the challenge without doubt lies in addressing the complex nature of the climate itself. For this reason, the identification of climatic features specific to subregions can provide new information for policy makers, water management stakeholders and any other groups, individuals or sectors directly or indirectly affected by climate, such as agriculture, energy and tourism.

This thesis focuses then on two general objectives. First, to describe and analyse the different rainfall measurement networks in Andalusia for the purpose of assessing the information that they provide in relation to their spatial and temporal distribution. Second, to develop a precipitation regionalization for Andalusia and the surrounding area in order to facilitate the identification and characterisation of homogenous areas in terms of their spatial-temporal variability in a way that would be useful for environmental management.

Therefore, the ultimate aim of this study is to provide scientific knowledge which would be of use to anybody involved in climate management activity in Andalusia, such as researchers, decision makers and environmental planners.

# **C**HAPTER 1

## **I**NTRODUCTION

1. Introduction
2. Objectives
3. Structure of the thesis and fundamental content by chapter

## 1. Introduction

I began my study with a still valid call made by M. F. Pita to research the spatial behaviour of rainfall: “Andalusia is a region of great climatic complexity, especially in terms of rainfall, due to its location and geographical features. Rainfall, as one of the most variable climatic magnitudes, is also one of the most difficult to study, this being particularly true in the Mediterranean climates, which are themselves particularly prone to considerable variability. All this makes research based on the study of rainfall in the Mediterranean region especially useful. At the present time, when the climate and climate change have become one of greatest challenges to humankind, taking on this type of research, designed to discover, describe and define the spatial behaviour of rainfall, is more necessary than ever” (Pita López, 2007).

In Andalusia, the enormous spatial-temporal variability of rainfall requires the availability of an observation network that is dense enough to cover this extensive territory as homogeneously as possible, while at the same time being able to depict a wide range of climate regimes. The region has at its disposal an extraordinary wealth of information on rainfall, obtained from more than 2,300 rainfall observatories and diverse measurement networks, all of which creates optimum conditions for this type of study. I would like to highlight the significance of area of research based on past observations at a time of extreme concern about climate variability and possible future changes. However, in order to analyse climatic variability we need information that fulfills certain minimum requirements, which may be difficult to comply with, such as long homogenous series of high quality and a specific common period of study.

This intrinsic difficulty of climate research increases when we take into account that at both regional and international level the land-based measurement networks are deteriorating considerably. Climate research continues to be based on instrumental data, so the consequences of the loss of information resulting from this deterioration are very serious, since it limits our ability to follow changes in the climate system. Our dependence on these records can be explained by two fundamental factors: first, they have been produced on a continuous basis for over a century, since the beginning of the Industrial Revolution in Europe; and second, instrumental records represent direct samples at exact points in space and time. It can thus be seen that the *instrumental climate measurement network* is the most complete network in existence, from both a spatial and a temporal perspective (Peterson et al., 1997).

In spite of the great progress made in climate studies based on weather stations, there is no climate observation system that adequately responds to current climate needs. What is more, existing information in many cases comes from an eclectic mix of observation and information management methods, which differ according to which administrative bodies are involved.

Yet another problem is that most of these instrumental networks were created for other ends, principally for the study of local climates and not for large-scale climate monitoring over an extended period of time, because of which there exist a number of practical problems concerning the use of these data in the study of climate change (Vose, 2005). In this respect, unequal distribution in the weather station network leads to bias that has a significant effect on the estimation of climate trends, especially at a regional level (Willmott et al., 1994).

Due to this situation, there is an increasing demand to create new observation systems, specifically designed and managed to facilitate effective climate monitoring, or to consolidate a climate reference network made up of spatially representative weather stations chosen from the existing high quality stations, the chosen stations providing a guarantee of optimum performance. In response to this reality, many countries are carrying out climate regionalization, which could be particularly useful when selecting the number and location of representative stations to be used as a reference network for climate change assessment, such as the Climatic Reference Network (CRN) in the USA.

This provides the context for my research, which focuses on carrying out a study of the various instrumental networks and rainfall measurement stations in Andalusia, with the aim of describing their historical evolution and analysing their spatial and temporal coverage. Another idea, which underpins this aim, is the relationship between the historical information provided by these existing networks and the future observation network, which will mainly be composed of automated stations. However, it is not possible to evaluate to what extent these networks are, or will be, representative and how well they are able to satisfy climate assessment requirements without first carrying out a study of the spatial variability of rainfall. For this reason, objective classification techniques are employed to develop a regionalization of rainfall as a way of understanding and identifying spatial patterns. Only in this way can progress be made in the evaluation of our observation networks, with the aim of guaranteeing an optimum reference network that enables the fulfilment of the regional objectives laid out in the *Programa de Adaptación al Cambio Climático* [Programme of Adaptation to Climate Change], whose goal is to “provide a collection of data sufficient to monitor the effects of Global Change in the short, medium and long term” (Subprogramme 4, dedicated to the Continuous Improvement of Knowledge [R&D&I]) (CMAOT).

At the same time, the use of climatic regionalization based on scientific research in environmental management remains very scarce. The problem is that there is no method that is globally accepted by climatologists and that the procedures used present certain difficulties, although the challenge without doubt lies in addressing the complex nature of the climate itself. For this reason, the identification of climatic features specific to subregions can provide new information for policy makers, water management stakeholders and any other groups, individuals or sectors directly or indirectly affected by climate, such as those related to agriculture, energy and tourism.

The ultimate aim of this study is to provide scientific knowledge that would be of use to people involved in climate management activity in Andalusia, such as researchers, decision makers and environmental planners. This reflects the conviction that knowledge about climate variability is the point at which physical, environmental and social systems all come together. A better understanding of the factors that control climate variation at a regional level will allow us to predict with precision future climate change impacts on society, as well as on environmental systems, hydrological processes and ecosystem dynamics (Abatzoglou et al., 2009).

However, it is striking that in institutional documents at both state and regional level, the new weather stations are only mentioned as part of the global climate change monitoring networks, with no mention of the other climate observation systems. What is particularly remarkable is the absence of references to the historical instrumental network of the Spanish Meteorological Agency Service (*Agencia Estatal de Meteorología* [AEMET]), which provides the most spatially and temporally complete record of land surface climate. These instrumental records provide Spain's most valuable source of climatic data. While at an international level increasing emphasis is placed on the irreplaceable role of these observatories, in Spain there appears to be no institutional priority to maintain and effectively manage the principal networks.

Consequently, my research sets out to highlight the importance and potential of these existing networks in Andalusia and evaluate their current state. The initiatives to create new networks for the observation of global climate change, located in areas that are mountainous or difficult to access, are helping to alleviate the scarcity of weather stations in terms of density and distribution, which without doubt represents considerable progress. However, these networks are still very recent and do not yet have at their disposal series that are long enough to allow their use in the modelling and characterization of the climate.

The results of my research could contribute to the design of an optimum measurement network and to the establishment of a basic monitoring network that guarantees climate information about the region and its continuity in the future. The role of the remaining observatories could be to provide additional information that would help to both detect changes in the climate with more precision and assess the impact that changes in the network system have on climate measurement.

## **2. Objectives**

This thesis aims to contribute to an increase in research related to the analysis and evaluation of climate patterns and their spatial distribution in Andalusia. The motivation for this work is that in a changing climate there is a need for greater knowledge of the spatial-temporal variability patterns of rainfall at a regional level, which will enable continuous monitoring and

assessment for the purpose of improving our capacity for climate management in the context of climate change.

Within the context outlined in the preceding pages, there are two **general objectives**:

- a) **To describe and analyse the different rainfall measurement networks in Andalusia** for the purpose of assessing the information that they provide in relation to their spatial and temporal distribution.
- b) **To develop a regionalization of rainfall data for Andalusia** and the surrounding area in order to facilitate the identification and characterization of homogenous areas in terms of their spatial-temporal variability in a way that would be useful for environmental management.

These general objectives can be broken down into a series of **specific objectives**:

- **To complete a scientific literature review** for the purpose of evaluating the current state of the art in regionalization techniques and climatology classification.
- **In relation to the first general objective of studying the observation networks:**
  - To study and analyse the historical evolution of the historical rainfall network in Andalusia from its origins to the present day.
  - To list and assess all the existing rainfall networks and stations in Andalusia.
  - To evaluate the current state of these networks and their efficiency in monitoring rainfall for the purpose of regional-scale climate change assessment.
- **In relation to the second general objective of developing a regionalization of rainfall data:**
  - To carry out an exploratory analysis of the available data for the purpose of statistically characterizing the spatial behaviour of rainfall in the region.
  - To test different methodological options for regionalization and subsequently evaluate the results.
  - To identify areas of homogenous rainfall behaviour that provide relevant information about the spatial distribution of rainfall and its behaviour patterns.

- To statistically, climatically and geographically characterize the identified rainfall areas in order to provide relevant information about the behaviour of rainfall in the region that could be used in both environmental and territorial management and planning.
- To produce maps of the spatial behaviour and the regionalization of rainfall.
- To put forward proposals for the improvement of the management of existing networks that focus on achieving the following goals:
  - A future optimization of the rainfall observation network so that it reliably represents the spatial-temporal variability of Andalusia.
  - A future reference network for the monitoring of changes in rainfall with guarantees of quality and continuity in time.

The results obtained from the use of these techniques and methodologies are intended to respond to the need for information in the processes of planning and environmental management.

### **3. Structure of the thesis and fundamental content chapter by chapter**

In order to fulfill the objectives defined previously, this thesis is structured in three blocks that, after the first introductory chapter, together include a total of nine chapters (with the addition of several appendices). The main content is explained below:

- ***Chapter 1. Introduction***

The work is introduced, justified and contextualized, and the specific objectives defined.

**PART 1. STUDY AREA AND SOURCES OF INFORMATION.** This section introduces the study area and climatology networks that will provide the information for the completion of the study.

- ***Chapter 2: Study area, sources and data***

In the second chapter the study area is introduced, this comprising not only Andalusia but also the surrounding territories, which has led me to use data from stations in Portugal and the Spanish provinces that share borders with Andalusia. A description of the Andalusian rainfall database that was chosen and the other sources of information is also given.

**PART 2. THEORETICAL FRAMEWORK AND CURRENT STATE OF AFFAIRS.** In this section the theoretical context of this research, to be found within the fields of Geography and Climatology, is introduced, as well the current state of the art in relevant methodological topics.

- ***Chapter 3. Climatic classification and regionalization***

In this chapter the theoretical framework for climatic classification and regionalization is looked at in order to investigate the roots of and the differences between these two concepts, this process providing a brief historical outline. This outline mainly focuses on the search for the origins of regionalization within the fields of physical geography and climatology, following its evolution up to the present day. Another aim of this chapter is to reflect on some epistemological questions related to the quantitative and statistical techniques that underpin this thesis. I will explore the true meaning and the possible applications of climatic classification and regionalization in a geographical context. Last of all, the conclusions concerning the process of regionalization in climatology will be given.

- ***Chapter 4. Methods for the regionalization of rainfall***

This chapter outlines the current state of climatic regionalization reviewing its different methodological approaches that are used, focusing on the most common ones which use various multivariate statistical techniques. There is an analysis of the most relevant contributions at international level, as well as for Spain and Andalusia concerning climatic regionalization.

**PART 3. METHODOLOGY.** This section explains the work process used for the completion of the thesis, describes the methodological procedures typical of this field of research and outlines the procedures finally chosen:

- ***Chapter 5. Presentation of the general methodology used***

My research is based on the development of two methodological lines of work:

- a) An analysis of the rainfall measurement network.** The main objectives are a historical description and evaluation of the current state of the existing networks. This is a qualitative approach linked to the humanist tradition of geography, that encompasses both the process of searching for all the rainfall information to be found in Andalusia and the evaluation of the principal state observation network.
- b) A proposal for the regionalization of rainfall,** which addresses the more quantitative side of the research and which will be produced through the statistical and exploratory analysis of the spatial behaviour of rainfall, with multivariate objective



methods being applied and the proposal as a whole being based on the presentation of the results through a Geographical Information System.

Finally, the confluence of the two lines of work will be dealt with in the last part of this introduction to the methodology used, which will allow me to present the final results and at the same time offer a global view of the research as a whole.

- ***Chapter 6. The methodology chosen for the thesis***

In this chapter I describe and justify my choice of methodology for the thesis, which is made in order to bring about the regionalization of rainfall in Andalusia; for this type of study there are several methodological approaches to choose from, all of them differing in their procedures, and not one of them accepted as "the most appropriate". For this reason, the methodology used to prepare the rainfall regionalization proposal involved the application of various different procedures chosen from those most commonly used in this field; the innovative approach that was developed will hopefully enrich this line of climatological research. Cluster analysis was chosen for the regionalization of rainfall data in Andalusia as it is one of the methods most commonly employed in the delimitation of climatic areas.

**PART 4. RESULTS.** This section presents the results obtained and reflections on this type of research in the current context of both geographical science and evidence of future climate change.

- ***Chapter 7. Rainfall observation networks in Andalusia***

The seventh chapter is divided into two main sections. The first of these contains a historical study of the climatology network in Andalusia and its configuration, this study being based on five distinct stages of development that lead us to the present day. The second part is dedicated to the analysis of the rainfall measurement networks that are currently operative in the region, so that their current condition and their potential for providing up-to-date information can be evaluated.

- ***Chapter 8. The regionalization of rainfall***

This chapter presents the **results of the regionalization process**, which facilitate the description of homogenous rainfall areas identified through cluster techniques. It contains the results of ten methodological approaches, which have made possible the selection of the best result as the basis of my final rainfall regionalization proposal for Andalusia. This proposal is described from a statistical, climatic and geographical point of view at two levels: a general regionalization consisting of five areas and a more detailed regionalization in which nine subareas are defined.

- **Chapter 9. The representativeness of the current measurement network based on the rainfall regionalization proposal**

This final stage brings together the results of the two lines of study and provides two additional analyses that focus on the following objectives:

- An evaluation of the current rainfall measurement network, including both AEMET and other bodies that have measurement stations at their disposal, which analyses the quality of the data that is recorded, this providing an insight into its real usefulness.
- An assessment of the spatial representativeness of the stations located in each one of the rainfall areas in relation to the density that the World Meteorological Organization establishes as a general reference for observation networks.

These final results are related to the proposed for regionalization and to the network of active stations allowing fulfilling one of the objectives of this thesis: an assessment of the representativeness of the measurement station system in Andalusia.

**PART 5. CONCLUSIONS AND FUTURE PROSPECTS.** Last of all, I present the **conclusions** reached in this study in relation to the aims established initially, together with some reflections on the future prospects for the use of my research within the field of geographical climatology.

- **Chapter 10. Conclusions and future prospects**

This chapter presents the conclusions reached in my research and addresses an issue of great relevance in the current context of economic crisis: the role of the regional-scale networks and the public environmental management bodies, all of which could be endangered by the difficulties involved in their maintenance and the interests of the private sector. Climate assessment based on observation networks is an asset of great economic worth, and we need to ensure the optimization of these networks in order to guarantee the rights of citizens and society to access the climate as a valuable natural resource of common ownership.

- **Chapter 11. References**

This section references are collected consulted. We have served the EndNote library manager and presented in the style of Harvard reference citation modified to adapt them to the Castilian. It notes that most of the quotations of foreign scientific papers have been translated by the author of this work, so that his style and interpretation come from an *amateur* translator with all the implications that this situation entails. The bibliography has been divided into chapters for two reasons: easier to find in the

process of reading this thesis and providing references with thematic sections so as to be useful to researchers interested in this subject.

To not unduly hinder the reading of this work, much of the results are presented as annexes, which are structured as follows:

- ANNEX 1. Complete results of the exploratory analysis of the input data
- ANNEX 2. Complete results of the exploratory analysis of the methodological choice
- ANNEX 3. R language used in the calculations of analyzes
- ANNEX 4. Statistical summary of regionalization in five areas
- ANNEX 5. Statistical description regionalization in nine areas
- ANNEX 6. Statistical Abstract of regionalization in nine areas
- ANNEX 7. Applications and case studies on climatic regionalization and reference networks

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

1. Introducción, objetivos y estructura de la tesis
  - 1.1. Importancia del estudio de la precipitación en Andalucía
  - 1.2. Contexto científico e interés para la gestión ambiental
  - 1.3. Objetivos y estructura de la tesis.
    - 1.3.1 Objetivos
    - 1.3.2 Estructura de la tesis

## 1. Introducción, objetivos y estructura de la tesis

Andalucía es una región de gran complejidad climática, especialmente pluviométrica, debido a su localización y características geográficas. La precipitación, por ser una de las magnitudes climáticas más variables que existen, es también una de las que presentan mayores dificultades para su estudio, y ello es especialmente notable en los climas mediterráneos dotados a su vez de una gran variabilidad. Todo ello confiere especial utilidad a los trabajos destinados al estudio de la precipitación en ámbitos mediterráneos. En el momento actual, cuando el cambio climático se han convertido en uno de los mayores desafíos a los que debe hacer frente la humanidad, abordar este tipo de investigación destinada a conocer, describir y caracterizar el comportamiento espacial de la precipitación se hace aún más necesario.

Otro hecho que refuerza la importancia de este tipo de investigaciones es que los patrones de precipitación muestran una alta variabilidad temporal y espacial a escala regional y subregional (Brunetti *et al.*, 2006; De Luís *et al.*, 2000), lo que determina que las proyecciones globales de los modelos climáticos presenten dificultades a la hora de simular escalas locales o de mayor detalle espacial. Por todo ello, la preocupación por conocer el patrón de cambio de las precipitaciones, a escala de análisis regional, justifica muchas de las investigaciones realizadas y que siga existiendo la necesidad de llevar a cabo investigaciones a esta resolución, espacialmente si emplean datos de alta densidad (Cuadrat Prats *et al.*, 2011; Gonzalez-Hidalgo *et al.*, 2009).

En Andalucía, la enorme variabilidad espacio-temporal de la precipitación, requiere disponer de una red de observación suficientemente densa como para cubrir su extenso territorio de la forma más homogénea posible y que al mismo tiempo pueda captar una gran diversidad de matices. La región cuenta con un extraordinario patrimonio de información pluviométrica, más de 2.300 observatorios y diferentes redes de medición, por lo que parte de unas condiciones óptimas para su estudio. Hemos de resaltar la trascendencia que tiene la investigación basada en observaciones pasadas, en un momento en el que existe gran preocupación por la estabilidad de los climas y sus cambios futuros. No obstante, para analizar la variabilidad climática se necesita disponer de información que cumpla unas exigencias mínimas, difíciles de conseguir, como series largas homogéneas y de calidad, periodo de estudio común, etc.

Hoy en día la investigación del clima sigue basándose en datos instrumentales, tanto regional como internacionalmente, a través de redes de medición en tierra que están sufriendo un deterioro notable que dificulta la investigación. Las consecuencias de la pérdida de información que este deterioro supone son muy graves, ya que limitan la capacidad de seguimiento del sistema climático. La importancia de estos registros se explica por dos razones fundamentales: llevan más de un siglo, desde el inicio de la Revolución Industrial,

operativos y localizan los puntos exactos de medición en el espacio y el tiempo. (Peterson *et al.*, 1997).

A pesar del gran avance de los estudios climáticos basados en estaciones meteorológicas, no tenemos un sistema de observación del clima adecuado que responda a las necesidades actuales. La información existente se ve afectada, en muchos casos, por las diferentes formas de gestionar y tomar las observaciones, según los organismos responsables de quienes dependen. Estas redes instrumentales fueron en su mayoría creadas para otros fines, fundamentalmente para el estudio de los climas locales y no para el seguimiento del clima a largo plazo, por lo que existen muchos problemas de carácter práctico en el uso de estos datos a la hora de estudiar el cambio climático (Vose, 2005). En este sentido, una distribución desigual en la red de estaciones, introduce sesgos que tienen efectos significativos sobre la estimación de las tendencias, principalmente a escala regional (Willmott *et al.*, 1994).

Esta situación hace que cada vez sean más frecuentes las llamadas a crear nuevos sistemas de observación que garanticen un mínimo de calidad, específicamente diseñados y gestionados para la vigilancia del clima, o bien a la consolidación de una red de referencia formada por estaciones espacialmente representativas, seleccionadas entre las que ya existen. En respuesta a esta realidad, muchos países están llevando a cabo regionalizaciones climáticas sobre las que basar redes de medición de referencia con el fin específico de controlar el clima, como por ejemplo la Red de Referencia Climática de Estados Unidos (*Climatic Reference Network (CRN)*).

En este contexto se sitúa nuestra investigación, centrada en llevar a cabo una regionalización pluviométrica que nos permita conocer la variabilidad y distribución espacial de la precipitación, a partir de la delimitación de zonas geográficas homogéneas. Las divisiones macroclimáticas son difícilmente aplicables a escalas regionales, especialmente en ámbitos donde existe una particular interacción de elementos de tipo geográfico y dinámico como es el caso de Andalucía. Ante la escasez de este tipo de estudios en los ámbitos mediterráneos en general, y en particular para el territorio andaluz (Gómez-Zotano *et al.*, 2015), este trabajo realiza, por primera vez, una identificación de regiones pluviométricas a escala mensual para esta región.

Sin embargo, para llevar a cabo este tipo de investigaciones, sobre el conjunto de la región andaluza, es imprescindible contar con una base de datos amplios, actualizados y con garantías de calidad y homogeneidad. Por esta razón, el presente trabajo tiene también un segundo objetivo, profundizar en el análisis de las redes instrumentales y de las estaciones de medición de la precipitación en Andalucía, con el fin de poder llegar a obtener un banco de datos pluviométrico completo de la región.

Otra idea que subyace en nuestro estudio, es analizar el *banco de información pluviométrica histórica* y actual de Andalucía, a fin de evaluar su representatividad, la información que aportan estas redes y su capacidad para satisfacer los requisitos de vigilancia del clima.

Únicamente así, podremos avanzar en la evaluación de los futuros impactos de los cambios del clima en nuestra región, garantizada por una red básica de observación de referencia óptima que permita cumplir los objetivos regionales del *Programa de Adaptación al Cambio Climático*, cuya meta es “disponer de un conjunto de datos suficiente para monitorizar a corto, medio y largo plazo los efectos del Cambio Global” (Subprograma 4 dedicado a la Mejora continua del conocimiento (I+D+i)) (CMAOT).

### **1.1. Importancia del estudio de la precipitación en Andalucía**

La posición de Andalucía en la zona suroccidental del continente europeo determina sus principales características climáticas, al situarse en una franja de transición entre los climas de las latitudes medias y los climas subtropicales, inscribiéndose en el dominio de los subtropicales de costa occidental o mediterránea. Este carácter de transición viene marcado por el modo de actuar de la circulación atmosférica, sometida a la alternancia de centros de acción y de mecanismos meteorológicos diferentes que originan un gran contraste estacional y dos de los rasgos más destacables de la región: la extraordinaria variabilidad y la irregularidad pluviométrica.

La existencia de un régimen de precipitaciones cuyo rasgo esencial es la enorme variabilidad estacional e interanual, es el causante una de las limitaciones más severas que el clima impone en la región, no sólo por los problemas que genera a la hora de gestionar los recursos hídricos, sino por la frecuente aparición de extremos pluviométricos, tanto por exceso como por defecto, responsables de los fuertes impactos que se traducen en inundaciones, o graves episodios de sequía pluviométrica en el territorio.

Por todo ello, como expone Pita López, “la mayor limitación climática de la región, es sin duda el agua, a pesar de que los volúmenes medios precipitados en Andalucía no sean tan bajos y de que existan enclaves en los que la precipitación se encuentra entre las más elevadas de España. La gestión rigurosa de este recurso y el respeto a los ritmos naturales son fundamentales, no sólo para su aprovechamiento sino también para rentabilizar otro tipo de recursos como el turismo o la agricultura, fuertemente dependientes de estos recursos hídricos” (Pita López, 2003, p.168). De ahí que el estudio de la precipitación y los fenómenos de riesgo asociados en la región, sea esencial para su incorporación a todas las fases de la gestión y planificación hidrológica, así como para la ordenación del territorio.

No obstante, a pesar de la importancia de la precipitación en Andalucía, tanto como recurso, por los fuertes impactos que genera, como por su extraordinaria variabilidad espacio-

temporal que se traduce en una gran riqueza climática, todavía son muy escasos los trabajos dedicados a estas cuestiones, especialmente los que abordan su distribución espacial. La mayor parte ellos tiene un carácter general y descriptivo, siendo prácticamente inexistentes los estudios a escalas de detalle, imprescindibles en la planificación y gestión de este recurso, por lo que conocer la variación de las precipitación en el espacio, continúa siendo una asignatura pendiente de gran trascendencia para Andalucía.

## **1.2. Contexto científico e interés para la gestión ambiental**

En los momentos actuales en los que las evidencias de cambio climático son aceptadas unánimemente, es obligado analizar el clima teniendo esto en cuenta, para ello es necesario tener un conocimiento previo de los rasgos climáticos de los territorios, identificando regiones y patrones espaciales de variabilidad que se puedan emplear no sólo en el seguimiento del clima regional, sino también en la mejora de la comprensión de los mecanismos que subyacen, a fin de lograr una mejor adaptación a este cambio.

A pesar de que Andalucía cuenta con importantes al estudio de su clima, como las numerosas del profesor J. J. Capel Molina, referidas también al estudio de la precipitación (Capel Molina, 1983; Capel Molina y Andujar Castillo, 1978), o J.M. Castillo Requena (Castillo Requena, 1980; Castillo Requena, 1989; Castillo Requena, 2000), por citar sólo algunos ejemplos, pocos trabajos se han desarrollado con un enfoque global, desde la perspectiva de un análisis espacial aplicable a la planificación y al seguimiento del clima. En este sentido, las clasificaciones climáticas han demostrado ser un instrumento eficaz para la comprensión de las complejas variaciones del clima, al aportar un esquema de síntesis cuyo objetivo principal es identificar regiones con patrones de comportamiento similar. Estos procedimientos entroncan con una de las tradiciones clásicas de la geografía: establecer tipologías para entender y caracterizar la diversidad de la Tierra y el medio. En efecto, como expone Ahmed “la clasificación en geografía es un camino por el cual la realidad climática se traduce a nivel regional en mapas o en otras formas de representación de la información geográfica. El objetivo principal de tales regionalizaciones es establecer un marco sencillo y completo para obtener generalizaciones inductivas sobre las variables climáticas” (Ahmed, 1997).

El uso de regionalizaciones climáticas aplicadas a la gestión medioambiental, basadas en trabajos científicos, sigue siendo todavía muy escaso. El problema reside en que no existe un método generalmente aceptado por todos los climatólogos, y que los procedimientos utilizados plantean ciertas dificultades, entre otras, abordar la propia naturaleza compleja del clima. De ahí que la identificación de las características climáticas específicas por subregiones, pueda proporcionar una nueva base de información dirigida a la formulación de políticas para la gestión del agua o para la planificación socioeconómica en sectores directamente influenciados por el clima, como la agricultura, la energía, el turismo, etc.

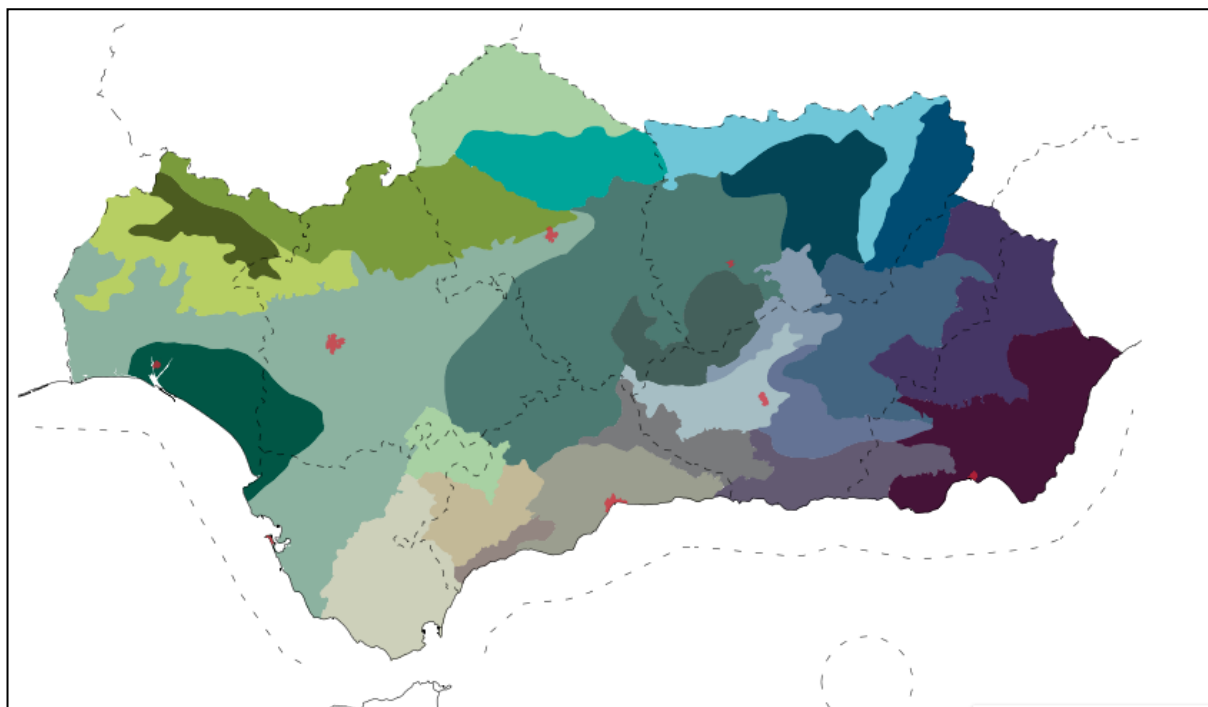


Además, las regionalizaciones permiten identificar las escalas espaciales asociadas a cambios significativos en la variabilidad de los factores climáticos, requisito previo esencial para la determinación de subregiones sobre las que realizar predicciones a diferentes escalas temporales. En la actualidad, a la normativa y documentación en materia de planificación y estudios de impacto ambiental, que ya incorporaba una cierta información climática, se añade contemplar los escenarios climáticos en el futuro. Por esta razón, uno de los fines de la denominada *ciencia aplicada del clima* es mejorar el conocimiento a nivel regional y local, en el convencimiento de que cuanto mayor sea la escala en la que dicha información puede ser proporcionada, mayor es la importancia para sus usos y aplicaciones. Según C. Montes y otros, “la delimitación de zonas pluviométricamente homogéneas aportaría información muy valiosa a las clasificaciones del medio natural, que son por naturaleza multidimensionales, proporcionando información sobre las características de uno de sus factores de mayor valor sintético y predictivo, la precipitación” (Montes *et al.*, 1998).

La necesidad de una regionalización pluviométrica de Andalucía está contemplada incluso por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, en la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) y más concretamente, en el mapa que *representa áreas homogéneas desde el punto de vista de las características de su pluviometría*, diferenciándose un total de 26 áreas (Figura 1.1). A pesar de su indudable utilidad, la información es incompleta, ya que no se describen los procedimientos empleados en su realización ni las características de cada zona, por lo que constituye una cartografía general de referencia, más que el resultado completo de una regionalización obtenida por métodos objetivos. Aun así, estas deficiencias corroboran la pertinencia de nuestra investigación dirigida a obtener resultados que se correspondan con las necesidades climáticas y ambientales actuales.

Para evaluar la variabilidad climática en zonas de orografía compleja, es importante conocer cuántos ámbitos se pueden identificar para caracterizar y hacer un seguimiento de sus cambios.

**Figura 1.1. Áreas pluviométricas homogéneas establecidas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía**



Fuente: (REDIAM)

Para hacer un seguimiento y apoyar la gestión ambiental, se han desarrollado en algunas administraciones herramientas de análisis operativas como el *California Climate Tracker* (<http://www.wrcc.dri.edu/monitor/cal-mon/>), que bajo el lema “Seguimiento de la variabilidad y cambios del clima para el Estado”, ofrece abundante información para la comprensión y gestión del clima.

Por todo ello, dado que el conocimiento del clima influye en sistemas de carácter físico, ambiental y social, “Una mayor comprensión de los factores de control de las variaciones del clima, a escala regional, permite conocer con precisión, los impactos futuros del cambio climático sobre la sociedad, así como sobre los sistemas ambientales, los procesos hidrológicos y la dinámica de los ecosistemas” (Abatzoglou *et al.*, 2009).

La Administración Autónoma muestra en diversos documentos, la necesidad de obtener información y de realizar estudios climáticos, al mismo tiempo que reconoce que existen lagunas y nuevas necesidades derivadas de esta certeza de cambios futuros. En el apartado 4.A) *Mejora del conocimiento (I+D+i)* del *Programa andaluz de adaptación al cambio climático* se especifica “el objetivo de este subprograma es desarrollar y ampliar la base de conocimiento estratégico acerca de los impactos y las consecuencias del cambio climático en Andalucía. Asimismo, en la página 72, recoge la importancia de la ordenación del territorio como elemento clave para la adaptación al Cambio Climático: “Las estrategias de ordenación del territorio y los planes urbanísticos deben prestar una atención especial a la información climática y a los efectos del cambio climático, de forma que las propuestas de ocupación y

distribución en el territorio de los distintos usos y actividades integren entre sus objetivos impedir y prevenir la degradación de los recursos naturales con influencia negativa sobre el clima, a la vez que tengan en cuenta el mejor aprovechamiento y adaptación a las características del clima y a los efectos del cambio climático” (CMA, 2011).

Estas actuaciones coinciden con medidas similares que se están llevando a cabo, a nivel internacional y europeo, implicando inevitablemente a las administraciones públicas en materia de cambio climático. Sin embargo, llama la atención que en los documentos institucionales a nivel estatal y autonómico, sólo se mencionen las nuevas estaciones meteorológicas como instrumento de control, las denominadas redes de seguimiento del cambio global, quedando ausentes los restantes sistemas de observación del clima. Es especialmente llamativa la ausencia de referencias a la red *tradicional* de la AEMET, cuyos registros constituyen el más valioso patrimonio de información climática. Mientras internacionalmente se pone cada vez más énfasis en el papel insustituible de estos observatorios, en España no parece existir una prioridad institucional para el mantenimiento y buena gestión de las redes básicas.

Esta situación muestra una cierta incoherencia, ya que entre las prioridades del PNACC y del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación de 2013, se encuentra la modelización del clima, cuya base son los datos proporcionados por estas estaciones. Como ejemplo de esta realidad nos remitimos al *Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático* que recoge en su página 27, al presentar los escenarios de cambio climático generados para la región, la siguiente afirmación: “Una característica importante del estudio realizado en Andalucía es la disponibilidad de una gran cantidad de datos meteorológicos a lo largo de un amplio periodo de tiempo en una red de más de 2.300 estaciones meteorológicas distribuidas por todo el territorio andaluz. Tras un proceso de filtrado para garantizar la calidad y coherencia de dichos datos e identificar anomalías, se han empleado los datos de más de 500 estaciones meteorológicas para la elaboración de los escenarios. Ello repercute directamente en la calidad y la resolución espacial de las previsiones obtenidas, algo de suma importancia ya que disponer de información fiable a escala local es fundamental para acometer tareas de planificación y adaptación al cambio” (CMA, 2011).

Nuestra investigación pretende, en este sentido, poner de manifiesto la importancia y potencialidad de estas redes existentes en Andalucía y hacer una evaluación de su estado actual. Las iniciativas de creación de nuevas redes de observación de cambio global, localizadas en zonas de montaña o en zonas de difícil acceso, vienen a paliar una de las carencias básicas en la densidad y distribución de las estaciones meteorológicas lo que sin duda supone un gran avance. No obstante, estas redes son muy recientes y aún no disponen de series suficientemente largas que permitan ser utilizadas en la modelización o caracterización del clima.

Por falta de inversión en su mantenimiento, se está perdiendo información climática con series históricas de observatorios situados en cotas similares a las de estas nuevas redes de montaña. ¿No tendría más sentido modernizar estos puntos privilegiados de medición e incorporarlos a la red actual dando continuidad a una series históricas insustituibles?

Es evidente que la vulnerabilidad de los ecosistemas de montaña hace prioritario su seguimiento, pero existe igualmente una necesidad de información climática para la planificación municipal en ámbitos de actuación tales como los estudios de impacto ambiental, planes de inundación, sequías etc. que exigen información climática en sus ámbitos y escalas de actuación. ¿Cómo se pueden presentar estos documentos de planificación y gestión sin una información básica y de calidad aplicable a estas escalas?

El seguimiento del clima debe cubrir todo el territorio, buscando estrategias que optimicen la calidad de la información y su accesibilidad en cualquier lugar geográfico. Ante la creciente preocupación por el cambio climático, los datos son cada vez más importantes para la comunidad científica, las diversas administraciones y la sociedad en general, ya que muchas decisiones individuales, empresariales y de los gobiernos, dependen de los datos meteorológicos disponibles (Freebairn y Zillman, 2002). Hace ya años Peterson y colaboradores (1998) reconocieron que las infraestructuras de datos climáticos son cada vez más importantes y valiosas para la formulación de políticas públicas (Panagos *et al.*, 2015).

En el caso de la precipitación es especialmente grave esta pérdida de información debido a su extremada variabilidad, ya que sus patrones pueden estar cambiando sin que se lleguen a percibir y conocer. Uno de los propósitos de esta investigación es contribuir a aminorar las deficiencias que se detectan en nuestra región a fin de Andalucía pueda dirigirse hacia una optimización de su red de medición climática y progresar en el camino, iniciado por el subsistema CLIMA de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, hacia el establecimiento de una red de referencia climática integrada, tal como disponen ya países como Estados Unidos a través de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), o el Gobierno de Australia desde su administración meteorológica.

En este contexto, la evaluación y seguimiento de los cambios en el clima, mediante regionalizaciones obtenidas a partir de un extenso banco histórico de datos de precipitación, procedente de la red básica permite, a partir de la identificación de *regiones* pluviométricas homogéneas, caracterizar y valorar sus variaciones espacio-temporales, identificando lo que se denomina su *firma climática*. De esta forma, se podrá dar respuesta a las necesidades de la región puestas de manifiesto por la Consejería de Medio Ambiente: “resulta procedente estudiar la zonificación climática derivada de los escenarios regionales de cambio climático y su comparación con la situación actual”.

Los resultados de nuestra investigación podrían ser de utilidad para el diseño de una red óptima de medición y para el establecimiento de una red básica de seguimiento que garantice el patrimonio de información climática de la región y su continuidad futura. La importancia de los restantes observatorios, podría ser valorada en función de los cambios que el propio clima experimente e igualmente son de gran utilidad para medir la incidencia que los cambios en la red de medición meteorológica tienen en el seguimiento del clima.

En este sentido, las regionalizaciones climáticas tienen una aplicación teórica y también práctica ya que, como plantea Willmott, “la utilización de un esquema de regionalización eficiente puede evitar redundancias en la adquisición de datos de las redes de medición meteorológica” (Willmott, 1978).

Las administraciones responsables en materia de gestión y planificación necesitan información sobre la extensión espacial y las características de los diferentes regímenes de los elementos climáticos, lo que les permite aprovechar el clima como recurso para el desarrollo.

El análisis de los límites espaciales de los diversos tipos de clima es de gran utilidad para la comprensión espacial de los fenómenos climáticos que afectan a sectores clave tales como la agricultura, el agua, la energía, etc. En esta línea, el propio conocimiento climatológico se transformaría en un recurso, ya que los métodos disponibles hoy para mejorar el estudio de las leyes físicas de la naturaleza y prever su comportamiento, proporciona una información inestimable para desarrollar las actividades económicas y sociales. En la medida en que aquellos sectores en los que su conocimiento y herramientas estén disponibles, sus usuarios tendrán un mayor grado de seguridad y éxito en la realización de sus actividades (Santos, 2000, p.198).

Por consiguiente, el estudio de las redes de medición climática basadas en regionalizaciones, es una necesidad no sólo para los fines anteriormente citados, sino también para garantizar una gestión eficiente de los recursos públicos que evite una privatización como alternativa de financiación, medida que no favorecería los intereses de los recursos climáticos como bien público. Por lo tanto, nuestra investigación responde, igualmente, a necesidades y retos de gran importancia para el diseño y establecimiento de políticas y programas de mitigación y adaptación al cambio climático, especialmente en una región tan vulnerable como Andalucía.

### **1.3. Objetivos y estructura de la tesis**

Nuestro trabajo se plantea como una contribución a los estudios relacionados con el análisis y evaluación de los patrones del clima y su distribución espacial en Andalucía. En una realidad fluctuante y cambiante es necesario disponer de un mayor conocimiento de las características y variabilidad espacio-temporales pluviométricas a escala regional, que permita realizar un

seguimiento continuado y una mejora de la capacidad de gestión del clima en el contexto de cambio global.

### 1.3.1. Objetivos

Los objetivos generales de este trabajo son dos:

- a) **Describir y analizar las diferentes redes de medición pluviométrica en Andalucía** a fin de valorar la información que proporcionan en relación a su distribución espacial y temporal.
- b) **Regionalizar los datos pluviométricos de Andalucía** y su entorno para identificar y caracterizar zonas homogéneas desde el punto de vista de su variabilidad espacio-temporal que puedan ser de utilidad para la gestión ambiental.

Estos objetivos generales se concretan en una serie de objetivos específicos:

- **Llevar a cabo una revisión bibliográfica** y hacer una evaluación del estado del arte en técnicas de regionalización y clasificación en climatología.
- **En relación con el primer objetivo de estudio de las redes de observación:**
  - Estudiar y analizar la **evolución histórica de la red pluviométrica** de Andalucía desde sus orígenes hasta la actualidad.
  - **Inventariar y valorar todas las redes y estaciones** de medición pluviométricas existentes.
  - **Evaluar el estado actual de las redes** de medición y su capacidad de seguimiento en la gestión climática.
- **En relación con el segundo objetivo de estudio de regionalización de la precipitación:**
  - Realizar un análisis exploratorio de los datos para **caracterizar estadísticamente el comportamiento espacial de la precipitación** en la región.
  - Ensayar **diferentes opciones metodológicas** de regionalización y evaluar sus resultados.

- **Identificar áreas de comportamiento pluviométrico homogéneo** que proporcionen información relevante de la distribución espacial de la precipitación y sus patrones de comportamiento.
- **Caracterizar estadística, climática y geográficamente las zonas** pluviométricas identificadas y proporcionar información relevante del comportamiento de la precipitación en la región, que pueda ser útil para la gestión y planificación ambiental y territorial.
- **Elaborar cartografías** sobre el comportamiento espacial de la precipitación y de la regionalización pluviométrica.
- Sugerir **propuestas para mejorar la gestión** de las redes existentes encaminadas a conseguir:
  - Una futura **optimización de la red de observación pluviométrica** que represente con fiabilidad la variabilidad espacio-temporal de Andalucía.
  - Una futura **red de referencia de seguimiento** de los cambios en la precipitación con garantías de calidad y continuidad en el tiempo.

Los resultados de estas técnicas y metodologías pueden contribuir a dar respuesta a las necesidades de información en los procesos de planificación y gestión medioambiental.

### **1.3.2. Estructura de la tesis y contenidos fundamentales por capítulos**

Para cumplir los objetivos antes definidos, este trabajo de investigación se estructura en tres bloques que integran un total de 11 capítulos, acompañados de sus correspondientes anexos. A continuación esbozamos de forma breve sus principales contenidos:

- **Capítulo 1. Introducción.**

Se definen los objetivos, se hace una presentación de los contenidos de la tesis, su justificación y el contexto en el que se inscribe el presente estudio.

#### **PRIMERA PARTE. ZONA DE ESTUDIO Y FUENTES DE INFORMACIÓN.**

Se presenta el ámbito que abarca la investigación y las redes de medición que proporcionan la información necesaria para su realización.

- **Capítulo 2: Área de estudio, fuentes y datos**

Se indica la zona en que se centra la investigación y que abarca Andalucía y los territorios de su entorno, lo que nos ha llevado a utilizar información de estaciones

ubicadas en Portugal y en las provincias españolas limítrofes con Andalucía. Se describe también el banco de datos pluviométrico que hemos seleccionado para nuestros análisis y se incluyen otras fuentes de información consultadas.

## **SEGUNDA PARTE. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN**

Sitúa el objeto de esta tesis en el contexto y marco referencial de la Geografía y la Climatología en el que se encuadra este trabajo, así como el estado de la cuestión.

### **• Capítulo 3. Clasificaciones climáticas y regionalización**

Se sitúa en el marco teórico de las clasificaciones y regionalizaciones climáticas en el que, tras justificar la necesidad de indagar en las raíces y diferencias de estos conceptos, llevamos a cabo una breve aproximación histórica, centrada principalmente en la búsqueda de los orígenes de las regionalizaciones en el seno de la geografía física y la climatología, revisando su evolución hasta la actualidad. También se reflexiona sobre algunas cuestiones epistemológicas relacionadas con las técnicas cuantitativas y estadísticas que sustentan nuestro trabajo. Analizamos el sentido y las aplicaciones de estos términos, para finalizar reflexionando sobre la dimensión geográfica de las regionalizaciones climáticas. Finalmente se presentan las conclusiones sobre el proceso de regionalizar en climatología.

### **• Capítulo 4. Métodos de regionalización de la precipitación**

Se expone el estado de la cuestión de las regionalizaciones climáticas, haciendo un repaso de las bases y los diferentes procedimientos metodológicos que existen, para centrarse en los que habitualmente utilizan técnicas de estadística multivariantes. Se analizan las contribuciones más relevantes, en cuanto a regionalizaciones climáticas se refiere, a nivel internacional, nacional y de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

## **TERCERA PARTE. METODOLOGÍA.**

Se muestra el proceso de trabajo, describiendo los procedimientos propios de este tipo de investigación y se completa en el siguiente capítulo, los métodos que se han seleccionado como más adecuados a los objetivos que se persiguen.

### **• Capítulo 5. Presentación metodológica general**

Nuestra investigación se basa en dos líneas metodológicas de trabajo:

- El análisis de la red de medición pluviométrica, cuyos objetivos fundamentales son la descripción histórica y la evaluación del estado actual de las redes existentes. Se trata de una aproximación cualitativa ligada a la tradición humanista de la geografía que engloba el proceso de búsqueda de toda la información pluviométrica existente en Andalucía y la evolución de la red principal de observación estatal.



- Se hace una propuesta de regionalización pluviométrica que aborda la parte más cuantitativa de la investigación, y que se lleva a cabo mediante el análisis estadístico y exploratorio del comportamiento espacial de la precipitación. Para ello se aplican métodos objetivos multivariantes, apoyados en la representación de los resultados mediante un Sistema de Información Geográfica.

Finalmente, la confluencia de ambas líneas metodológicas, será tratada en el último apartado de esta introducción a la metodología, lo que nos permitirá mostrar los resultados finales y ofrecer, al mismo tiempo, una visión general de toda la investigación.

- **Capítulo 6. Elección metodológica de la tesis**

Se trata de hacer una justificación de la elección metodológica de la tesis para la obtención de una regionalización pluviométrica de Andalucía; sobre este tipo de estudios existen varias aproximaciones metodológicas, todas ellas con variantes en sus procedimientos, y ninguna aceptada como la más adecuada para estos fines. Por esta razón, la metodología empleada para llevar a cabo nuestra regionalización pluviométrica ha consistido en utilizar distintas opciones, tanto de los procedimientos generalmente empleados como de sus variantes, intentando introducir aspectos innovadores o poco utilizados que pudieran enriquecer esta línea de investigación climatológica. Hemos escogido el análisis de conglomerados o cluster como procedimiento de regionalización de la precipitación en Andalucía por ser uno de los métodos más utilizados en la delimitación de zonas climáticas.

#### **CUARTA PARTE: RESULTADOS.**

Se recogen los resultados obtenidos y reflexiones acerca de este tipo de investigaciones en el contexto actual de la ciencia geográfica y las evidencias de cambios futuros en el clima.

- **Capítulo 7. Las redes de observación pluviométrica en Andalucía**

Este capítulo se divide en dos grandes apartados: el primero presenta un estudio histórico de la red estatal en Andalucía y su configuración, indagando en las motivaciones históricas a partir de una serie de etapas en su desarrollo hasta llegar a la actualidad. El segundo está dedicado a analizar las redes actuales de medición de la precipitación existentes en la región, para evaluar su estado y capacidad de información actual.

- **Capítulo 8. Regionalización pluviométrica**

Se exponen los resultados del proceso de regionalización que permiten describir las zonas pluviométricas homogéneas, identificadas mediante técnicas de análisis de conglomerados. Se recogen los resultados de diez ensayos metodológicos que han permitido seleccionar resultado que mejor se adecua a la propuesta de regionalización

pluviométrica para Andalucía; se hace una descripción desde el punto de vista estadístico, climático y geográfico a dos niveles: una regionalización general en cinco zonas y una de mayor detalle en el que se diferencian nueve subzonas.

• **Capítulo 9. Representatividad de la red de medición actual según la regionalización pluviométrica establecida**

Se lleva a cabo un proceso integrador con los resultados de las dos líneas de trabajo y se realizan dos últimos análisis dirigidos a:

- Evaluar la red de medición pluviométrica actual, tanto de la AEMET como de otros organismos que disponen de estaciones de medición, analizando la calidad de los datos que registran, lo que aporta información sobre la utilidad real que cada una puede aportar.
- Valorar la representatividad espacial de las estaciones localizadas en cada una de las zonas pluviométricas, en relación con la densidad que la Organización Meteorológica Mundial establece como referencia general para las redes de observación.

Estos últimos resultados se ponen en relación con nuestra propuesta de regionalización y con la red de estaciones activas, lo que nos permite alcanzar uno de los objetivos de esta tesis: valorar la representatividad del sistema de estaciones de medición en Andalucía.

**QUINTA PARTE: CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.**

Se ofrecen las conclusiones de este estudio en relación con los objetivos marcados al inicio, así como algunas reflexiones sobre las perspectivas futuras en el ámbito de investigación de la climatología geográfica.

• **Capítulo 10. Conclusiones y perspectivas futuras**

Se especifican las conclusiones de nuestra investigación y se abordan cuestiones de gran relevancia, en el contexto de crisis económica, tales como el papel de las redes de medición estatales y la gestión pública de los recursos naturales que pueden verse seriamente comprometidos ante las dificultades para su mantenimiento y para los intereses del sector privado. El clima es un recurso y las redes de medición son un patrimonio de alto valor económico, por lo que sólo la optimización de estos sistemas de medición puede garantizar los derechos de los ciudadanos y de la sociedad sobre estos recursos naturales.

Para lograr los objetivos antes definidos, este trabajo se estructura en tres bloques que integran un total de 11 capítulos a los que acompañan anexos que presentamos a continuación:

- **Capítulo 11. Bibliografía**

En este apartado se recogen las **referencias bibliográficas** consultadas. Nos hemos servido del gestor bibliográfico EndNote y se presentan siguiendo el estilo de citación **Harvard reference** modificado, para su adecuación al castellano. Hay que señalar que la mayoría de las citas textuales de artículos científicos extranjeros, han sido traducidas por la autora de este trabajo, por lo que su estilo e interpretación provienen de una *traductora amateur* con todas las implicaciones que esta circunstancia conlleva. La bibliografía se ha estructurado en capítulos por dos motivos: facilitar su búsqueda en el proceso de lectura de esta tesis y proporcionar referencias según los apartados temáticos de modo que sean de utilidad a investigadores interesados en esta temática.

Para no dificultar excesivamente la lectura del presente trabajo, una gran parte de los resultados se presentan en forma de **anexos**, que se han estructurado de la forma siguiente:

- ANEXO 1. Resultados completos del análisis exploratorio sobre los datos de entrada
- ANEXO 2. Resultados completos del análisis exploratorio sobre la elección metodológica
- ANEXO 3. Códigos en lenguaje R empleados en los cálculos de los análisis
- ANEXO 4. Resumen estadístico de la regionalización en cinco zonas
- ANEXO 5. Descripción estadística de la regionalización en nueve zonas
- ANEXO 6. Resumen estadístico de la regionalización en nueve zonas
- ANEXO 7. Aplicaciones y casos prácticos sobre regionalizaciones y redes de referencia climáticas

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABATZOGLOU, J. T., REDMOND, K. T. & EDWARDS, L. M. 2009. Classification of Regional Climate Variability in the State of California. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 1527-1541.10.1175/2009jamc2062.1.
- AHMED, B. Y. M. 1997. Climatic classification of Saudi Arabia: An application of factor cluster analysis. *GeoJournal*, 41, 69-84.10.1023/a:1006827322880.
- BRUNETTI, M., MAUGERI, M., MONTI, F. & NANNI, T. 2006. Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26, 345-381
- CAPEL MOLINA, J. J. 1983. Distribución de la lluvia en el sureste español. Periodo:1951-1980. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Letras*, 27-36
- CAPEL MOLINA, J. J. & ANDUJAR CASTILLO, F. 1978. Mapa pluviométrico de Andalucía. *Paralelo 37*, 2, 197-209
- CASTILLO REQUENA, J. M. 1980. Causas de la indigencia pluviométrica del Levante Andaluz. *Rev. Paralelo*, 37, 153-174
- CASTILLO REQUENA, J. M. 1989. *El clima de Andalucía: clasificación y análisis regional con los tipos de tiempo*, Almería, Diputación Provincial de Almería.Instituto de Estudios Almerienses.
- CASTILLO REQUENA, J. M. 2000. Evolución de la precipitación anual en las regiones pluviométricas andaluzas. Observaciones de geografía comparada sobre las posibilidades de regulación y trasvase de recursos hídricos. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 123-141
- CMA 2011. *Programa andaluz de adaptación al cambio climático*, Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 122. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambiental\\_es/clima/actuaciones\\_cambio\\_climatico/adaptacion/programa\\_adaptacion/programa\\_adaptacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambiental_es/clima/actuaciones_cambio_climatico/adaptacion/programa_adaptacion/programa_adaptacion.pdf) [Acceso 12 de julio 2015].
- CUADRAT PRATS, J. M., SERRANO, R., SAZ, M. Á. & MARÍN, J. M. 2011. Patrones temporales y espaciales de la precipitación en Aragón desde 1950. *Geographicalia*, 85-94
- DE LUÍS, M., RAVENTÓS, J., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., SÁNCHEZ, J. R. & CORTINA, J. 2000. Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain). *International Journal of Climatology*, 20, 1451-1469
- FREEBAIRN, J. W. & ZILLMAN, J. W. 2002. Economic benefits of meteorological services. *Meteorological Applications*, 9, 33-44.doi:10.1017/S1350482702001044.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).

- GONZALEZ-HIDALGO, J. C., LOPEZ-BUSTINS, J.-A., ŠTEPÁNEK, P., MARTIN-VIDE, J. & DE LUIS, M. 2009. Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000). *International Journal of Climatology*, 29, 1415-1429.10.1002/joc.1780.
- MONTES, C., BORJA, F., BRAVO, M. A. & MOREIRA, J. M. 1998. *Doñana: Una Aproximación Ecosistémica* [Online]. Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/clasificacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/clasificacion.pdf) [Acceso 5 de julio 2015].
- PANAGOS, P., BALLABIO, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., KLIK, A., ROUSSEVA, S., TADIĆ, M. P., MICHAELIDES, S., HRABALÍKOVÁ, M., OLSEN, P., AALTO, J., LAKATOS, M., RYMSZEWICZ, A., DUMITRESCU, A., BEGUERÍA, S. & ALEWELL, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment*, 511, 801-814.<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
- PETERSON, T. C., VOSE, R., SCHMOYER, R. & RAZUVAĚV, V. 1997. Quality Control of Monthly Climate Data: The GHCN Experience. *International Journal of Climatology*,
- PITA LÓPEZ, M. F. 2003. El clima de Andalucía. *Geografía de Andalucía*. Madrid, Editorial Ariel,137-173.
- REDIAM. *WMS Mapa de Áreas de pluviometría homogénea en Andalucía* [Online]. Consejería de medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM\\_areas\\_pluviometria\\_homogenea](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM_areas_pluviometria_homogenea) [Acceso 12 de julio 2015].
- SANTOS, M. 2000. *La naturaleza del espacio. Técnica y Tiempo. Razón y Emoción.*, Barcelona, Ariel.
- VOSE, R. S. 2005. Reference Station Networks for Monitoring Climatic Change in the Conterminous United States. *Journal of Climate*, 18, 5390-5395.10.1175/jcli3600.1.
- WILLMOTT, C. J. 1978. P-mode principal components analysis, grouping and precipitation regions in California. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 26, 277-295.10.1007/bf02243232.
- WILLMOTT, C. J., ROBESON, S. M. & FEDDEMA, J. J. 1994. Estimating continental and terrestrial precipitation averages from raingauge networks. *International Journal of Climatology*, 14, 403-414. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3370140405>.

# **PRIMERA PARTE**

## **ZONA DE ESTUDIO, FUENTES Y DATOS**

*Capítulo 2. Área de estudio, fuentes y datos*



# CAPÍTULO 2

## ÁREA DE ESTUDIO, FUENTES Y DATOS

### 2.1. Marco geográfico

### 2.2. Características pluviométricas generales

### 2.3. Elección de los datos de precipitación para la investigación

### 2.4. Fuentes de información pluviométrica

2.4.1. Agencia Estatal de Meteorología

2.4.2. *Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos* de Portugal

2.4.3. Otras fuentes

### 2.5. Tratamiento inicial de la información y bases de datos disponibles

2.5.1. Depuración del banco de AEMET y SNIRH de Portugal

2.5.2. Base de datos MOPREDAS

2.5.3. Base de datos para la regionalización pluviométrica

### 2.6. Otras fuentes de información y programas informáticos



## 2.1. Marco geográfico

El marco geográfico de nuestra investigación abarca toda la Comunidad Autónoma de Andalucía, aunque por diversas razones que expondremos a continuación, extendemos el ámbito de estudio más allá de sus límites administrativos. Nuestra zona de estudio comprende todos los territorios limítrofes con Andalucía, incluyendo los de Portugal, con una extensión lo bastante amplia como para permitirnos obtener una densidad suficiente de estaciones con *buenas* series de precipitación.

El criterio que inicialmente se utilizó para delimitar el ámbito de estudio, estuvo basado en la búsqueda de estaciones pluviométricas limítrofes pertenecientes a la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con la calidad y extensión temporal necesaria para garantizar una buena densidad. Esto nos llevó a establecer una zona de influencia de aproximadamente 75 km a partir de los límites administrativos de Andalucía. Esta distancia garantiza que los límites naturales de los principales sistemas montañosos, determinantes en la distribución espacial de la precipitación, se encuentran incluidos evitando así fragmentaciones que pueden llevar a resultados que no tengan una coherencia geográfica y climática.

Es necesario aclarar que el ámbito de estudio completo sólo se ha utilizado en la etapa de análisis de los datos para obtener una regionalización *objetiva*, centrándose exclusivamente en Andalucía, una vez realizado el análisis de la red de medición pluviométrica y obtenida la propuesta final de regionalización pluviométrica. Como se muestra en la Figura 1.2 podemos distinguir una zona de apoyo en nuestra región, en la que se centran los objetivos de nuestra investigación que incluye: la zona del Algarve portugués y parte del Alentejo, el sur de Extremadura y Castilla- La Mancha, y el este de Murcia.

Figura 1.2. Ámbito de estudio. Andalucía y zonas limítrofes.



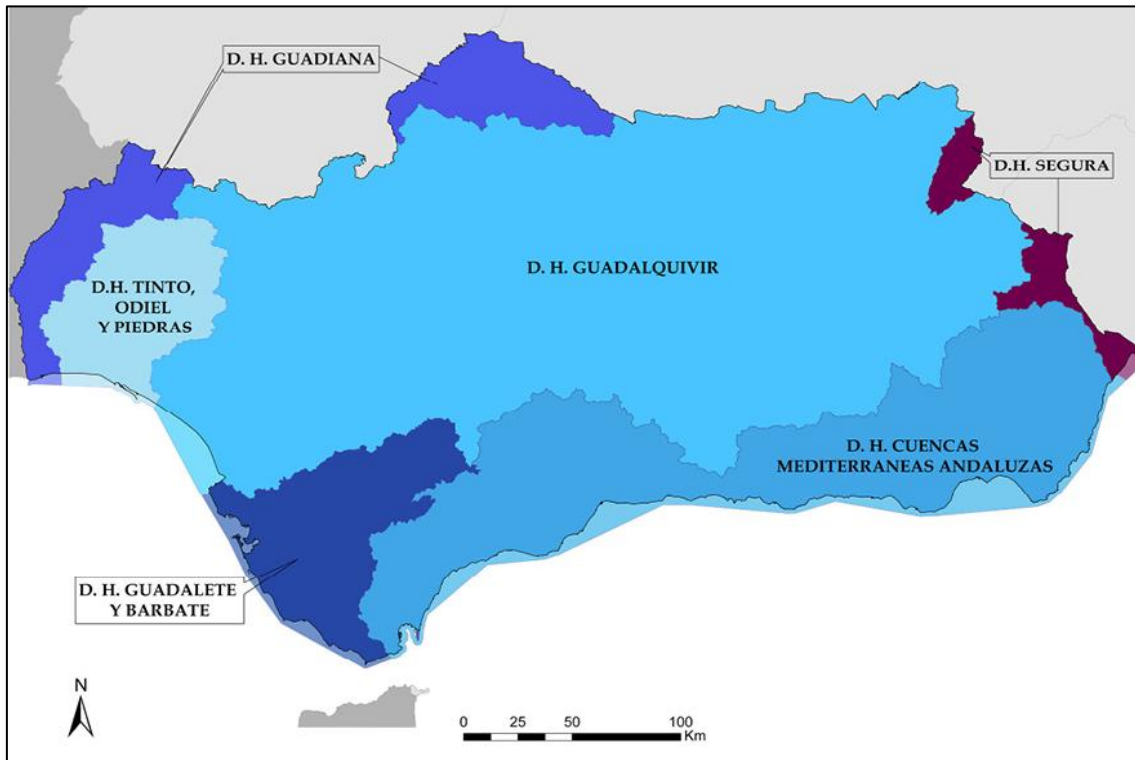
Fuente: Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA)

Por lo tanto, dos razones han motivado la ampliación de nuestro ámbito de estudio:

- a) Las necesidades de los procedimientos de regionalización. Este tipo de estudio se lleva a cabo para conocer la variabilidad climática de un territorio, intentando identificar los factores espaciales y geográficos que condicionan el comportamiento de los elementos climáticos respetando, en la medida de lo posible, fronteras naturales. Pero además, necesitamos ampliar nuestra zona de estudio más allá de Andalucía debido a que los procedimientos que se emplean requieren que se incorpore información, más allá de los límites de la zona para evitar los *efectos de borde* (Perdian y Winkler, 2015). Desconocemos de antemano las regiones pluviométricas, no sabemos hasta dónde pueden extenderse, por lo que hay que procurar que permita su delimitación *natural*.
- b) Para abordar el estudio de las redes de medición hemos tenido que realizar una consulta a todos los organismos que cuentan con estaciones de medición pluviométrica en Andalucía, entre los que se encuentran las Demarcaciones Hidrográficas; el territorio andaluz comprende seis de ellas, tal como se aprecia en la Figura 2.2 Todas las Demarcaciones disponen de las redes SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica), uno de cuyos objetivos es “suministrar automáticamente y en tiempo real información sobre las variables climáticas”(SAIH). Por esta razón, la búsqueda de información y datos de estas redes ha justificado la ampliación de nuestro ámbito de estudio más allá de los límites de Andalucía.

Nuestra zona de estudio garantiza de esta forma un marco espacial adecuado para el estudio de la variabilidad y distribución de la precipitación. Nos servimos de una base de datos de estaciones pluviométricas que asegura la coherencia geográfica y climática de nuestra regionalización y, por último, que incorpore las diferentes redes y organismos responsables de la medición de esta variable en Andalucía.

Figura 2.2. Figura XX: Demarcaciones Hidrográficas en Andalucía.



Fuente: Sampedro Sánchez y Del moral Ituarte (2014) a partir de Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente e Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía.

En Andalucía, a la variabilidad característica del clima mediterráneo, sometida a un ritmo cambiante, se une la complejidad regional del relieve, cuyo resultado es, como indica Gómez Zotano y otros (Gómez-Zotano *et al.*, 2015) “una particular interacción de factores climáticos de tipo geográfico y dinámico”. Sin duda, un marco de estudio amplio garantiza una aproximación más precisa a una de las variables climáticas más complejas: la precipitación, que presenta especial dificultad en nuestra región caracterizada por una elevada irregularidad.

## 2.2. Características pluviométricas generales

La especial posición geográfica de Andalucía, en el extremo suroccidental del continente europeo, al sur de la Península Ibérica y por tanto en el área de los climas mediterráneos, próxima al norte de África, la ubica en una zona de transición entre las

latitudes medias y los climas subtropicales, de ahí que se encuentre sometida a la alternancia de diferentes centros de presión a lo largo del año.

Los factores dinámicos que afectan a la región, a gran escala, se centran en dos componentes: la mediterraneidad o subtropicalidad, tanto más intensa cuanto más hacia el sur, y la oceanidad determinada por la presencia del Atlántico, cuya influencia es mayor de oeste a este. Los patrones generales se relacionan con el sistema de circulación atmosférica atlántica y mediterránea, asociados principalmente a diversos modos de variabilidad de baja frecuencia en el hemisferio norte, la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) (Barnston y Livezey, 1987) y la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) (Martin-Vide y Lopez-Bustins, 2006).

Estas circunstancias latitudinales con sus particulares dinámicas atmosféricas, son modificadas por factores geográficos tales como la distribución de tierras y mares de su entorno, y por la accidentada orografía de la región. La variabilidad regional está motivada por la interacción de la dinámica de gran escala y la orografía. En la baja troposfera, gana importancia la topografía que modifica la dirección e intensidad de los vientos resultantes, a través del efecto que ejercen los sistemas montañosos de canalización, los ascensos y los efectos de barrera de los sistemas montañosos (Whiteman, 2000).

En efecto, a los factores de origen atmosférico hay que sumar los geográficos, fundamentalmente la disposición del relieve y la altimetría, dada la compleja topografía de la región en donde se sitúan las alturas más elevadas de la península ibérica, superándose los 3.000 metros sobre el nivel del mar en las cordilleras Béticas. Las características de un relieve accidentado son las responsables de su acusada variabilidad espacial lo que se traduce en la aparición de un mosaico climático en el interior del gran conjunto mediterráneo. Otro factor importante, es su localización entre un mar y un océano, lo que contribuye notablemente a esta diversidad, con un predominio de las influencias marinas atlánticas sobre las mediterráneas. “Esto es debido a la apertura del valle del Guadalquivir al océano Atlántico y a la fragmentación de la región en dos grandes ámbitos climáticos bien separados *grosso modo* por las cadenas Béticas que se convierten en una muralla, más o menos infranqueable, entre el dominio noroccidental o atlántico y el suroriental o mediterráneo” (Pita López, 2003, p.140).

La configuración del relieve en Andalucía es uno de los factores geográficos que mayor peso tiene, dado que su disposición y orientación determinan la enorme variabilidad y la disimilitud en la significación espacial de oceanidad y continentalidad de su territorio (Capel Molina, 2000; Castillo Requena, 1989; Font Tullot, 2000). La orografía actúa

como un mecanismo de ciclogénesis sinóptico a meso-escala, y es determinante para la circulación atmosférica (Sotillo *et al.*, 2003).

Como comentan los autores citados, a escala local, el relieve pronunciado de la zona fortalece los mecanismos de generación de precipitaciones, las refuerza a partir de sistemas de nubes pre-existentes, o favorece el desarrollo de nubes en ubicaciones fijas. En la vertiente mediterránea de la región, el mar tiene unas altas temperaturas superficiales durante una gran parte del año, por lo que el vapor de agua constituye una importante fuente de humedad. En condiciones meteorológicas adecuadas, cuando el flujo atmosférico incide sobre la costa, la evaporación conduce a una intensificación de los mecanismos anteriores, y facilita la formación de procesos convectivos sobre las zonas costeras. Todos estos factores hacen que la orografía sea el mecanismo que condiciona la distribución de las lluvias en el espacio.

Todos estos factores determinan una gran diversidad y matices climáticos, especialmente notables en el comportamiento y distribución espacial de las precipitaciones caracterizada, como expone Martín Vide, por totales predominantemente modestos, una alta variabilidad interanual y largos períodos de sequía, a menudo salpicados por precipitaciones torrenciales (Martín-Vide, 2011).

Son numerosos los estudios dedicados a la precipitación en Andalucía, tanto de tipo analítico como sinóptico y dinámico que, a diferentes escalas, abordan la mediterraneidad como el rasgo más característico de su clima. A escala regional hay que destacar algunas obras de carácter general (Capel Molina, 1977; Capel Molina, 1987; Castillo y Molina, 1978; Castillo Requena, 1989; Pita López, 2003), o centradas en investigación del comportamiento espacial y temporal (Aguilar-Alba, 2007; Aguilar-Alba y Pita López, 1996; Aguilar-Alba *et al.*, 2006; Capel Molina, 1983; García-Barrón *et al.*, 2013; Pita López y Aguilar-Alba, 1998; Pita López *et al.*, 2002; Ramos Calzado, 2003; Ruiz Sinoga *et al.*, 2011), variabilidad (Aguilar-Alba y Pita López, 1996; García-Barrón *et al.*, 2011; López *et al.*, 1999; Pita López *et al.*, 1985; Rodrigo, 2002; Rodrigo *et al.*, 2000; Rodrigo *et al.*, 2012) o extremos (Argüeso *et al.*, 2012; Capel Molina, 1982; Fernández-Montes y Rodrigo, 2015; Pita López, 1987; Pita López, 2001; Ruiz-Sinoga *et al.*, 2012) entre otros.

En los últimos años, el número de investigaciones sobre la precipitación y su comportamiento espacial y temporal, han ido aumentando notablemente, aunque siguen siendo necesarios más estudios sobre esta región que permitan mejorar el conocimiento climático de Andalucía. Especial interés presentan las bases de datos que ofrezcan un conjunto de observaciones de alta densidad (Gonzalez-Hidalgo *et al.*, 2009), ante la creciente necesidad en el ámbito mediterráneo de mejorar los análisis a escala regional y subregional.

### 2.3. Elección de los datos de precipitación para la investigación

La escala temporal de nuestro estudio es mensual; esta elección viene motivada por la escasez de trabajos a escala regional que abarquen todo el territorio andaluz, y porque, según parece, no hay ninguna propuesta de regionalización pluviométrica de Andalucía para este tipo de datos y sí para la escala diaria (Argüeso *et al.*, 2011; Romero *et al.*, 1998; Romero *et al.*, 1999).

Una de las aportaciones de esta investigación en cuanto a los datos de entrada, es que se emplearán las series completas, no estadísticos descriptivos que resuman las series mensuales. En este sentido, nuestro trabajo presenta cierta singularidad en cuanto a que emplearemos series temporales, a fin de identificar los grupos de variación común en el comportamiento sus series temporales, que reflejen las regiones geográficas donde son predominantes. Sin embargo, nuestra investigación no se enmarca en las técnicas de análisis de series temporales, sino en regionalización espacial aunque con esta singularidad en sus datos de entrada.

La elección de la escala mensual, empleando las series completas, se justifica entre otras razones porque:

- A partir de todos los registros mensuales de cada estación, la diversidad de regímenes pluviométricos será identificada y discriminada con mayor precisión que si se emplean valores medios, como suele habitual.
- De partida, el banco de datos mensual presenta una excelente cobertura territorial, se trata de una cuestión relevante como plantea Steiner, “es evidente que los análisis dependen de la distribución de las estaciones de medición en el espacio. Las posibilidades de agrupamiento de los puntos está influenciado por la propia distancia topográfica entre los puntos de la superficie terrestre. Puntos alejados tenderán lógicamente a presentar valores más diferentes que puntos cercanos. Por otro lado, el número de puntos de medición que se utilicen es otra cuestión importante que depende de los objetivos de la regionalización, de si debe tener un mayor o menor detalle para que constituya una muestra representativa” (Steiner, 1965).

De esta forma, tenemos garantía de que se supera una dificultad básica que suele plantearse en la práctica convencional de la regionalización: la exigencia de contar con una buena densidad y con un número adecuado de puntos de observación con suficientes registros de precipitación, como para formar regiones significativas.

- Gracias a la alta densidad del conjunto de datos de precipitación mensual, se pueden abordar las escalas de mayor utilidad para el momento actual: las regionales y subregional. Hasta no hace mucho, abordar la escala diaria con una densidad elevada de estaciones resultaba prácticamente imposible. Afortunadamente comienzan a aparecer bases de datos, de alta calidad y cobertura espacial, como la recientemente generada para el noreste peninsular (Vicente-Serrano *et al.*, 2010), que van permitiendo realizar este tipo de aproximaciones.
- La disponibilidad de información pluviométrica a escala mensual, ha permitido ampliar la zona de estudio más allá de los límites de Andalucía incluyendo a Portugal, otra de las exigencias del tipo de metodología que vamos a emplear para garantizar resultados coherentes, a nivel geográfico y climático, de las regiones delimitadas.

Decidida la base de datos y la escala temporal de nuestro estudio, el siguiente paso consiste en la búsqueda de los mismos, lo que nos ha llevado a un proceso complejo, en diversas etapas, como describiremos en el siguiente apartado.

#### **2.4. Fuentes de información pluviométrica**

Andalucía, cuenta con una buena y extensa red de medición pluviométrica producto de un interés histórico por el conocimiento del territorio para su aprovechamiento, fundamentalmente, agrícola e hidrológico. La red estatal ha sido y es la responsable principal de las mediciones climáticas en la región, pero desde finales de los años noventa se han instalado otras redes meteorológicas.

La Junta de Andalucía gestiona a través de diferentes consejerías, ligadas a necesidades de información meteorológica específicas, ha ido consolidando diversas redes de medición que enriquecen notablemente las posibilidades de conocimiento climático y ambiental de la región.

Desde los años noventa impulsado la Dirección General de Planificación de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para dar respuesta se pone en marcha la creación el Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA) (CLIMA, 2015) para dar respuesta a las necesidades creadas tras la adopción en Andalucía de una Estrategia Autonómica ante el Cambio Climático y la progresiva constitución de la Red de Información Ambiental en Andalucía (REDIAM).

Desde entonces el Subsistema (CLIMA) constituye la principal fuente de información climática formado por una extensa red de estaciones meteorológicas pertenecientes a diferentes organismos que mediante una la aplicación informática permite la integración de los datos, el control de la calidad de los mismos, y su explotación conjunta. Gracias al Convenio de Colaboración entre el Instituto Nacional de Meteorología y la Consejería de Medio Ambiente para el intercambio de datos de las diferentes redes de observación, lo que explica la posibilidad de acceso a esta información desde el subsistema CLIMA previa solicitud a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.

A pesar de constituir la principal fuente de información climática existente en la región, y de la cual se nutre en gran medida este trabajo, hemos obtenido la información pluviométrica directamente de su fuente original, la Agencia Estatal de Meteorología, fundamentalmente por la necesidad de conocer la información original ya que el Subsistema CLIMA realiza, como una de sus grandes aportaciones, el control de calidad y depuración de las estaciones, lo cual podría alterar nuestra evaluación del estado actual *real* de las observaciones pluviométricas en la región. Los datos de precipitación mensual de Andalucía y su entorno fueron obtenidos mediante un convenio establecido entre el Departamento de Geografía de la Universidad de Sevilla y la Agencia Estatal de Meteorología para el desarrollo de esta tesis doctoral.

Puesto que nuestro ámbito de estudio se extiende más allá de los límites de Andalucía, hemos tenido que buscar información tanto de las provincias limítrofes españolas como de Portugal. Los organismos que han suministrado los datos de precipitación mensual han sido diversos y los mencionaremos a continuación.

#### **2.4.1. Agencia Estatal de Meteorología**

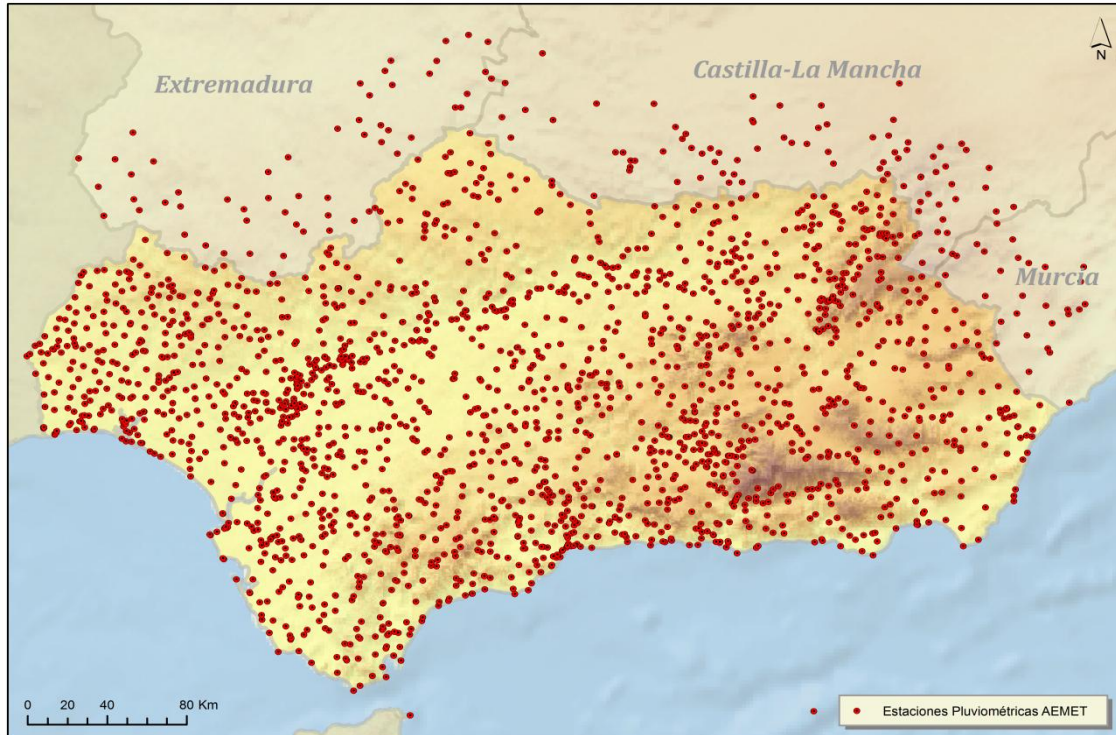
La red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) dispone un conjunto de estaciones numerosísimo y completo Andalucía y las provincias colindantes, lo que constituye un valioso y sólido banco de información para nuestro estudio.

El banco de datos pluviométrico mensual *bruto* de Andalucía se obtuvo en su totalidad, sin selección previa de estaciones ya que es el centro de nuestra investigación. Sin embargo los datos de las estaciones exteriores a Andalucía, pertenecientes a las provincias de Badajoz, Ciudad Real, Albacete y Murcia, fueron solicitadas oficialmente por la autora al tras una selección de las mejores series existentes y más cercanas a los límites de Andalucía.



En la siguiente figura se representan las estaciones donde se observa la densísima red de observatorios existentes en Andalucía.

**Figura 3.2. Estaciones pluviométricas de la AEMET para nuestra investigación.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET

En la siguiente tabla se recogen el número de estaciones por provincias y por Comunidades Autónomas. En las provincias exteriores la densidad de estaciones es menor debido a que no son todas las que constituyen la red de la AEMET, sino sólo aquellas de las que hemos solicitado.

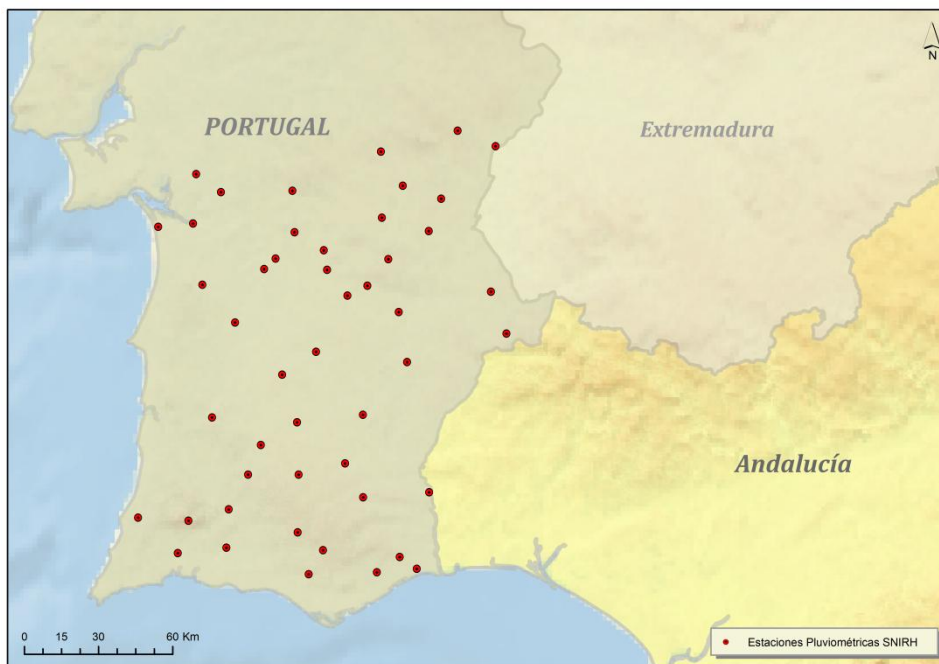
Como veremos más adelante, el banco de datos original de Andalucía se empleará completo cumplir con el objetivo de evaluar el estado actual de la red de medición y parte de él, tras realizar un proceso de depuración, en otros análisis de este trabajo.

#### **2.4.2. Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal**

El Servicio Nacional de Información de Recursos Hídricos de Portugal (SNIRH) ofrece en su página web mucha información, cartografía y datos muy completos, actualizados y gratuitos ([www.snirh.pt](http://www.snirh.pt)). Realmente es un organismo que demuestra un magnífico funcionamiento y gestión, siendo loable la accesibilidad y facilidades en la descarga de toda la información que ofrece.

El SNIRH dispone de diversas redes de medición para el seguimiento y gestión de los recursos hídricos, dos de ellas toman datos climáticos diversos: la red *udométrica* y la red climatológica. De estas dos redes hemos obtenido 137 series de precipitación mensual del sur de Portugal situadas en las cuencas hidrográficas del río Guadiana, Arade, Mira, Ribeira do Algarve y Sado (ver Figura 4.2). A partir de este grupo hemos seleccionado 48 series que formaran parte de nuestro banco de datos inicial siguiendo como criterio fundamental la calidad y longitud de las series.

**Figura 4.2. Estaciones del Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos en nuestra investigación.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de SNIRH

### 2.4.3. Otras fuentes

En Andalucía existen otros organismos e instituciones que registran la precipitación. Algunos de ellos mantienen redes cuyos datos pueden ser solicitados, como la el Sistema de Alerta de Información Hidrológica, pero otros muchos no son tan conocidos y sus información es difícil de obtener. No describiremos aquí estas fuentes de información ya que su búsqueda y adquisición de datos constituye parte de los objetivos y resultados de esta investigación.

## 2.5. Tratamiento inicial de la información y bases de datos disponibles

Debido al ámbito de estudio elegido y a cuestiones relacionadas con la propia metodología de esta investigación, manejaremos varias fuentes de información y con

distintos bancos de datos precipitación, empleando cada uno de ellos con un fin diferente en el marco de nuestra investigación.

Los objetivos y necesidades del proceso de trabajo nos han llevado a utilizar bases de datos *diferentes* por diversos motivos que exponemos a continuación:

- Disponer de un banco de datos de calidad con series homogenizadas para obtener resultados fiables y precisos.
- Lograr la máxima densidad espacial de estaciones para garantizar la representatividad de los datos y poder captar óptimamente los matices del comportamiento de la precipitación.
- Conocer la información pluviométrica original de las redes de medición existentes para poder evaluar su estado.
- Disponer de series suficientemente largas que permitan captar la variabilidad durante un periodo representativo de observación.

Las primeras etapas de esta investigación se centraron en la adquisición de los datos pluviométricos mensuales de Andalucía y de nuestro ámbito de apoyo, e iniciar un proceso de depuración y control de calidad que garantizara que, aún utilizando la información original, no existiesen errores graves, tales como valores *imposibles*, en diferentes unidades de medición, fuera de rango, caracteres de texto etc. Por esta razón trabajaremos con dos bancos de datos de la AEMET, el original y el que hemos denominado *depurado*.

Por otro lado obtener un banco de datos de calidad y son series homogenizadas es una tarea ardua y que lleva mucho tiempo. Para la Península Ibérica, se han creado bases de datos pluviométricas diarias y mensuales, tanto a escala nacional como de detalles. Romero y otros obtuvieron una base de datos de precipitaciones diarias integrada por 410 estaciones distribuidas por las provincias andaluzas, el litoral mediterráneo y las Islas Baleares (Romero *et al.*, 1998) durante el periodo 1961/1993. Ramos-Calzado y otros han completado las series de precipitación mensual de 932 estaciones, distribuidas por Andalucía y zonas limítrofes, para el periodo 1961/2000 (Ramos-Calzado *et al.*, 2008). Vicente Serrano y otros han creado una base de datos de precipitaciones diarias y homogéneas para el nordeste de España y el periodo 1901/2002 con 828 estaciones (*Northeastern Spain Adjusted Precipitation dataset*) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010).

A escala nacional, una de las últimas bases de datos de precipitación mensual publicadas es MOPREDAS (*MO*nthly *PRE*cipitation *DA*tabase of Spain; (González-Hidalgo *et al.*, 2011). Esta base está compuesta por 2670 estaciones y cubre el periodo 1945/2005. Durante el proceso de nuestra investigación conocimos la existencia de

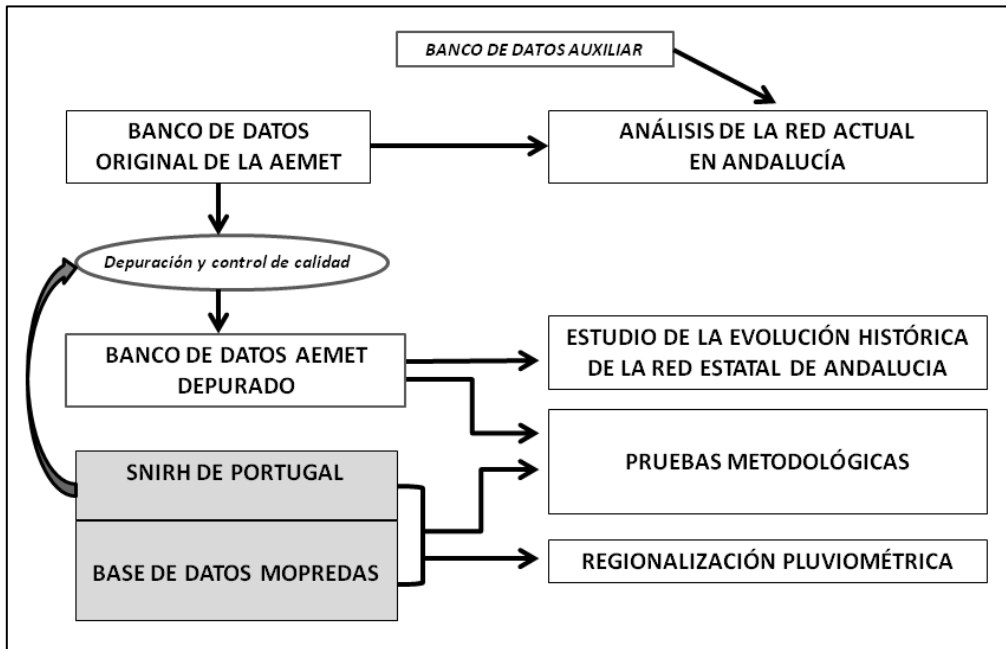
esta base de datos que reunía todos los requisitos climáticos requeridos para nuestro estudio y que presentaba otras ventajas que describiremos más adelante. Tras contactar personalmente con su investigador principal el profesor J.C. González Hidalgo del Departamento de geografía de la Universidad de Zaragoza quien generosamente nos proporcionó la base de datos completa para Andalucía y su entorno.

Como hemos comentado Ramos-Calzado (2012) ha creado una base de datos de precipitación para Andalucía y su entorno aplicando un método nuevo que estima los datos faltantes en series mensuales de precipitación a través de una función de distribución de probabilidad de tipo Gamma. La razón por la que no elegimos esta base de datos es porque conocimos su existencia recientemente, cuando el proceso de elaboración de esta tesis estaba ya en marcha.

En la siguiente figura (Figura 5.2) se presenta esquemáticamente las fuentes y los bancos de datos empleados en esta investigación adelantando los objetivos principales para los que han sido empleados. Hemos marcado en gris la base de datos constituirá la base fundamental de nuestra regionalización ya que constituye la mejor tanto en cuanto a su calidad como por su cobertura espacial.

A primear vista podría parecer que trabajar con tantos bancos de datos diferentes podría confundir, pero realmente cada uno responde a una motivación en la búsqueda de conocer mejor la realidad histórica y presente de la red de medición pluviométrica en Andalucía. Indudablemente nuestro banco de referencia para obtener la propuesta de regionalización pluviométrica sólo ha sido MOPREDAS y las mejores estaciones del Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal.

Figura 5.2. Descripción de las fuentes de información y su integración en la investigación.



Fuente:

Describiremos brevemente el proceso de depuración del banco de datos original para Andalucía y del **Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal (SNIRH)**.

### 2.5.1. Depuración del banco de datos de la AEMET y SNIRH

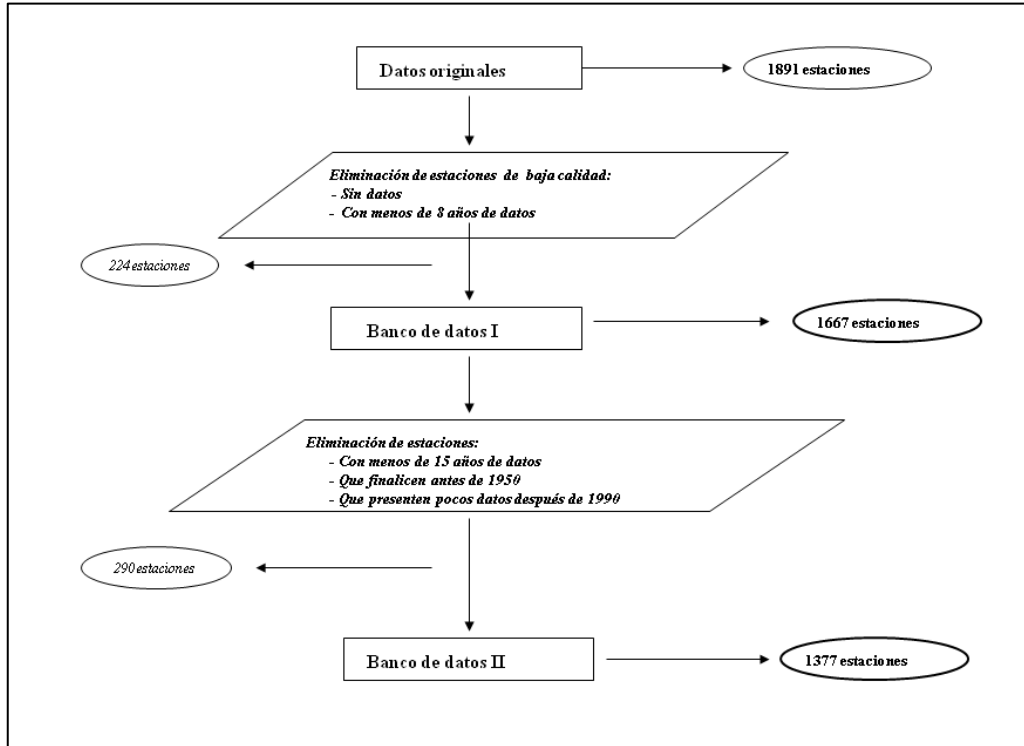
Los datos del banco de datos de la AEMET como del **SNIRH** no han sido sometidos a ningún proceso de control de calidad. Recientemente al acceder a este servicio de información portugués hemos comprobado que han incorporado protocolos de control de calidad que se muestran en todos los registros al descargar los datos.

Se unificaron en una base de datos toda esta información a fin de llevar a cabo un proceso de control de calidad y detección de errores, *outliers*, etc. En todo este proceso se detectaron multitud de valores erróneos, falsos ceros, desplazamientos cronológicos de las series y un sinnúmero de irregularidades que no vamos a describir pues no es el objeto de este trabajo. También se eliminaron todas aquellas estaciones *inservibles* por contener esos años con dos y de mala calidad que podrían desvirtuar la percepción real de las estaciones con información.

En la siguiente figura (Figura 6.2) mostramos esquemáticamente el proceso de depuración para Andalucía hasta llegar al que hemos denominado *Banco de datos depurado AEMET*. Aclarar que no se llegó al proceso de homogenización de las series aunque sí se aplicaron no sólo procesos de estadísticos de detección de errores sino

también comparaciones espaciales para verificar la coherencia espacial. Todo ello gracias al programa PROCLIM (Štěpánek, 2008).

Figura 6.2. Depuración del banco de datos de precipitación de la AEMET en Andalucía.



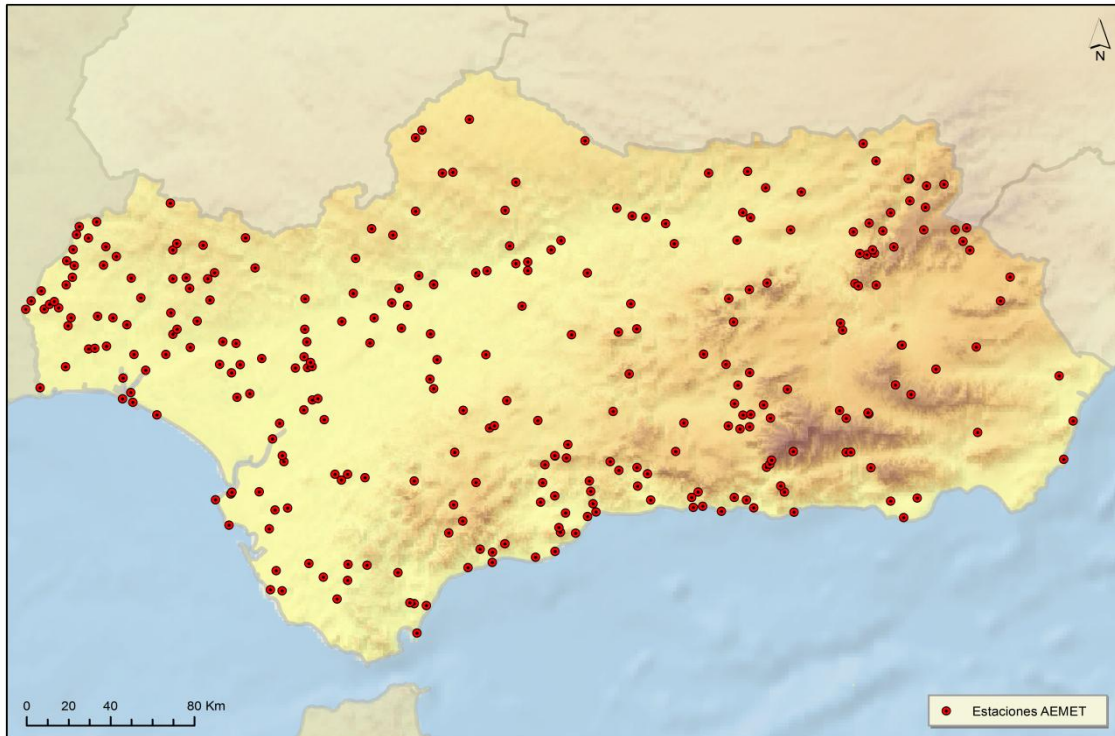
Fuente:

Como podemos observar en este proceso se eliminan 514 estaciones hasta llegar a 1377 estaciones sobre las que realizamos estos procesos de control de calidad estadísticos y espaciales. Realmente la densidad de estaciones sigue siendo altísima, pero hay que tener en cuenta que son todas, sin exigencias de longitud de las series, periodos o periodos de referencia.

En las siguientes figuras (Figura 7.2 y Figura 8.2) se representa el resultado espacial de este proceso de depuración. El mapa inicial con todas las estaciones disponibles corresponde con la Figura 3.2 donde mostrábamos las estaciones de la AEMET en el (apartado 2.4.1).

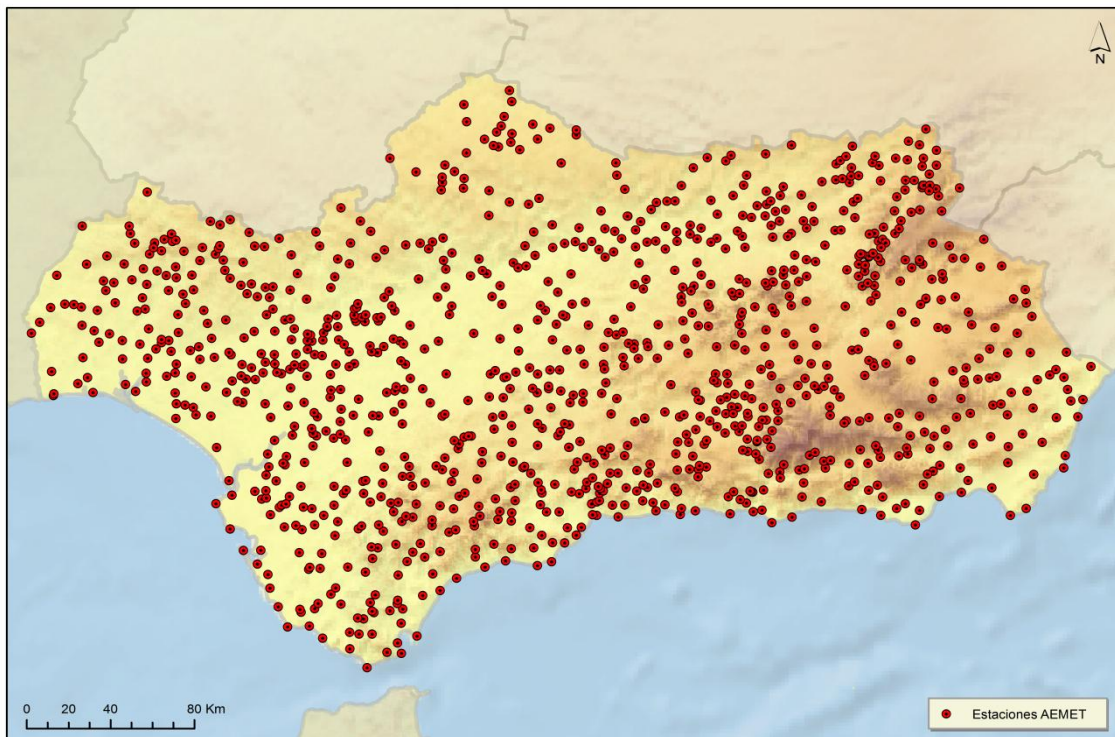


**Figura 7.2. Estaciones eliminadas en el proceso de depuración del banco de datos AEMET.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET

**Figura 8.2. Banco de datos depurado de la AEMET para Andalucía.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET

Este extenso banco de datos depurado será utilizado en función de los requerimientos temporales y exigencias en los análisis.

### 2.5.2. La base de datos MOPREDAS

Base de datos de precipitación mensual MOPREDAS (MOnthly PREcipitation DAtabase of Spain) (González-Hidalgo *et al.*, 2011; Gonzalez-Hidalgo *et al.*, 2009) está compuesta por 2670 series de precipitación libres de inhomogeneidades y datos anómalos, y distribuidas uniformemente en toda España para el periodo 1945-2005. En los artículos citados puede encontrarse todo el proceso detallado de generación de esta base de datos.

Posteriormente MOPREDAS ha sido ampliada para disponer de información pluviométrica en el conjunto de la Península Ibérica, añadiendo 386 series de precipitación correspondientes al territorio portugués proporcionadas, igualmente, por el Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Surge así MOPREDASP (Monthly Precipitation Database of Spain and Portugal) siguiendo los mismos protocolos anteriores utilizado para su control de calidad, homogeneización y relleno el fin de obtener la máxima coherencia y robustez posible al unir ambas bases de datos. La base de datos MOPREDASP está compuesta por 3056 series de precipitación mensual repartidas por toda la Península Ibérica.

En el momento de adquirir MOPREDAS no estaba aún disponible esta segunda base de datos, por lo que nuestros datos del SNIRH no han seguido los mismos protocolos aunque sí ha sido sometida al mismo proceso de depuración que el banco de datos de AEMET para Andalucía.

### 2.5.3. Base de datos para la regionalización pluviométrica

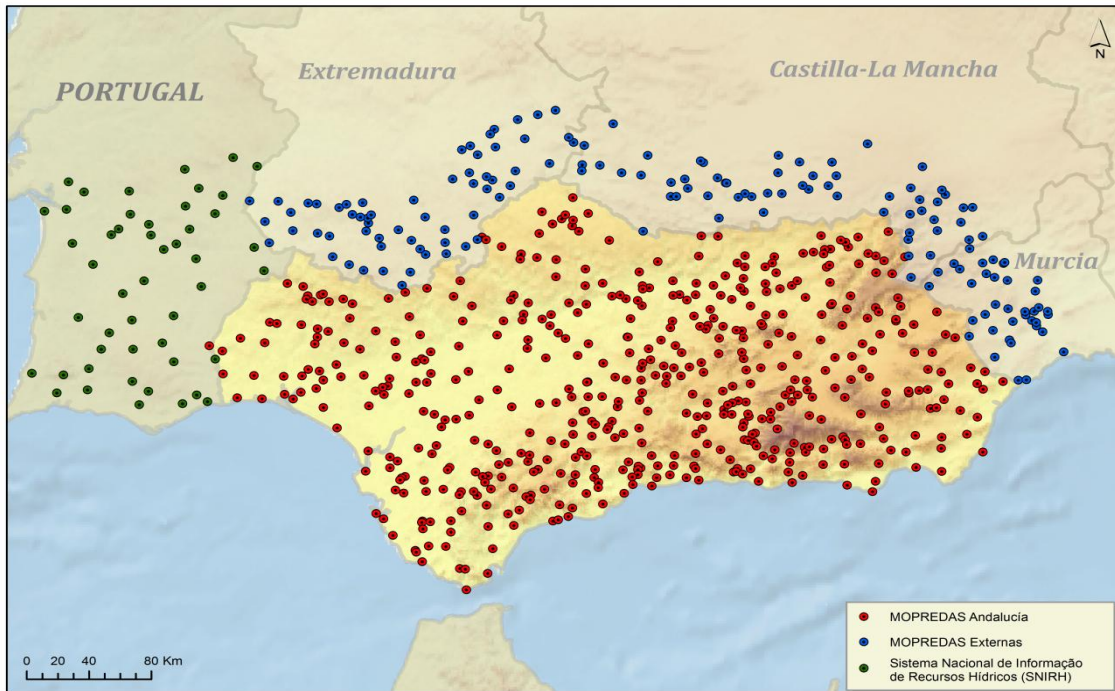
En la siguiente tabla (Tabla 1.2) figura (Figura 9.2) presentamos la base de datos final que hemos empleado para obtener la propuesta de regionalización pluviométrica de Andalucía. Esta base de datos está compuesta por 722 estaciones.

**Tabla 1.2. Estaciones de la base de datos para la regionalización pluviométrica.**

	Número de estaciones
MOPREDAS Andalucía	514
MOPREDAS externas	160
SNIRH Portugal	48
<b>Total</b>	<b>722</b>



Figura 9 .2. Estaciones empleadas en la regionalización pluviométrica de Andalucía.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MOPREDAS y SNIRH

## 2.6. Otras fuentes de información y programas informáticos

El desarrollo de este trabajo ha requerido información de otras fuentes y el manejo de diversos programas informáticos. Las bases de información cartográfica de Andalucía provienen fundamentalmente de:

- Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía ([www.ideandalucia.es](http://www.ideandalucia.es))
- Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE)
- Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)
- Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA, 2014)
- Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)

En cuanto a los programas informáticos específicos empleados han sido los siguientes:

- Tratamiento de datos climáticos:
  - AnClim (Štěpánek, 2003)
  - ProClimDB (Štěpánek, 2008).
- Cartografía. Sistema de Información Geográfica: ArcGis 10.0
- Tratamiento estadístico. PASW Statistics 20 y R- Project ([www.r-project.org](http://www.r-project.org))
- Gestor bibliográfico. Endnote 4

Todo este proceso de gestión y manejo de datos ha supuesto un importante aprendizaje en mi formación como geógrafa y climatóloga.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR-ALBA, M. 2007. Cambios y tendencias recientes en las precipitaciones de Andalucía. En: SOUSA, A., GARCÍA-BARRÓN, L. Y JURADO, V. (ed.) *El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medioambientales*. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía.
- AGUILAR-ALBA, M. & PITA LÓPEZ, M. F. Evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía occidental: su repercusión en la gestión de los recursos hídricos. *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*, 1996.
- AGUILAR-ALBA, M., SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, E. & PITA LÓPEZ, M. F. 2006. Tendencia de las precipitaciones en marzo en el sur de la Península Ibérica. En: CUADRAT, J. M. E. A. (ed.) *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*,. Zaragoza, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).
- ANDALUCIA, I. *Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía* [Online]. Disponible: <http://www.ideandalucia.es/portal/web/ideandalucia/> [Acceso 10 de enero 2015].
- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2012. High-resolution projections of mean and extreme precipitation over Spain using the WRF model (2070–2099 versus 1970–1999). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117, D12108.10.1029/2011jd017399.
- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.10.1175/jcli-d-11-00073.1.
- BARNSTON, A. G. & LIVEZEY, R. E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115, 1083-1126.10.1175/1520-0493(1987)115<1083:csapol>2.0.co;2.
- CAPEL MOLINA, J. 1977. El clima de la cuenca baja del Guadalquivir. *Cuadernos Geográficos*, 307-350.
- CAPEL MOLINA, J. J. 1983. Distribución de la lluvia en el sureste español. Periodo:1951-1980. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Letras*, 27-36
- CAPEL MOLINA, J. J. 1987. El clima de Andalucía. En: CANO, G. (ed.) *Geografía de Andalucía*. Sevilla, Editorial Tartessos,99-186.
- CAPEL MOLINA, J. J. 2000. *El clima de la Península Ibérica*, Barcelona, Ariel.
- CAPEL MOLINA, J. J. La aridez en la Península Ibérica. Homenaje almeriense al botánico Rufino Sagredo, 1982. Instituto de Estudios Almerienses.
- CASTILLO, F. A. & MOLINA, J. J. C. 1978. El mapa pluviométrico de Andalucía. *Paralelo 37*, 197-209

- CASTILLO REQUENA, J. M. 1989. *El clima de Andalucía: clasificación y análisis regional con los tipos de tiempo*, Almería, Diputación Provincial de Almería. Instituto de Estudios Almerienses.
- CLIMA. 2015. *Subsistema CLIMA* [Online]. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/> [Acceso 8 agosto 2015].
- CNIG. *Centro Nacional de Información Geográfica* [Online]. Centro Nacional de Información Geográfica. Ministerio de Fomento. Disponible: <https://www.cnig.es/> [Acceso 8 de junio 2015].
- DERA. 2014. *Dominios territoriales de la Comunidad Autónoma de Andalucía* [Online]. Instituto de Estadística y Cartografía. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/> [Acceso 3 de septiembre 2015].
- FERNÁNDEZ-MONTES, S. & RODRIGO, F. 2015. Trends in surface air temperatures, precipitation and combined indices in the southeastern Iberian Peninsula (1970-2007). *Climate Research*, 63, 43-60.10.3354/cr01287.
- FONT TULLOT, I. 2000. *Climatología de España y Portugal*, Ediciones Universidad de Salamanca.
- GARCÍA-BARRÓN, L., AGUILAR-ALBA, M. & SOUSA, A. 2011. Evolution of annual rainfall irregularity in the southwest of the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 103, 13-26.10.1007/s00704-010-0280-0.
- GARCÍA-BARRÓN, L., MORALES, J. & SOUSA, A. 2013. Characterisation of the intra-annual rainfall and its evolution (1837–2010) in the southwest of the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 114, 445-457.10.1007/s00704-013-0855-7.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., BRUNETTI, M. & DE LUIS, M. 2011. A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005). *International Journal of Climatology*, 31, 715-731.10.1002/joc.2115.
- GONZALEZ-HIDALGO, J. C., LOPEZ-BUSTINS, J.-A., ŠTEPÁNEK, P., MARTIN-VIDE, J. & DE LUIS, M. 2009. Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000). *International Journal of Climatology*, 29, 1415-1429.10.1002/joc.1780.

- IDEE. *Infraestructura de Datos Espaciales de España* [Online]. Ministerio de Fomento. Disponible: <http://www.idee.es/> [Acceso 10 de febrero 2015].
- LÓPEZ, M. F. P., NARANJO, J. M. C. & ALBA, M. A. 1999. La evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y sus relaciones con el índice de la NAO. *En: RASO, J. M. Y. M.-V., J. (ed.) La climatología española en los albores del siglo XXI. I Congreso de la Asociación de Climatología*. Barcelona, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, 399-408.
- MARTÍN-VIDE, J. 2011. Estructura temporal fina y patrones espaciales de la precipitación en la España peninsular. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona* [Online], Tercera Época. Num. 1030, Vol. LXV Num. 3. Disponible: [www.racab.es/publicacions/pdf/1030.pdf](http://www.racab.es/publicacions/pdf/1030.pdf) [Acceso 2 de junio 2015].
- MARTIN-VIDE, J. & LOPEZ-BUSTINS, J.-A. 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26, 1455-1475.10.1002/joc.1388.
- PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.10.1002/joc.4036.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2003. El clima de Andalucía. *Geografía de Andalucía*. Madrid, Editorial Ariel, 137-173.
- PITA LÓPEZ, M. F. 1987. El riesgo potencial de sequía en Andalucía. *Revista de estudios andaluces*, 11-40
- PITA LÓPEZ, M. F. 2001. Un nouvel indice de sécheresse pour les domaines méditerranéens. Application au bassin du Guadalquivir (Sud-ouest de l'Espagne). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 13, 23-35
- PITA LÓPEZ, M. F. & AGUILAR-ALBA, M. Evolution and changes in the rainfall variability in Andalusia (Spain) during the last century. *En: AL, A. E., ed. Climate and environmental change, 1998* Evora. Ed. Colibri.
- PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR-ALBA, M., CAMARILLO NARANJO, J. M., ALVAREZ FRANCO, J. I. & ABREU FERNÁNDEZ, L. La covariación espacial de la precipitación en la península ibérica y su contribución al establecimiento de mecanismos de compensación interterritorial como instrumento de ayuda en la gestión de las sequías. 2002.
- PITA LÓPEZ, M. F., MORGA JUBERA, O., BLÁZQUEZ CALZADA, M. J. & EREZA DÍAZ, M. 1985. La variabilidad pluviométrica en la cuenca baja del Guadalquivir. *Revista de estudios andaluces*, 167-184
- R-PROJECT. *The R Project for Statistical Computing* [Online]. The R Project for Statistical Computing. Disponible: <https://www.r-project.org/>.
- RAMOS-CALZADO, P., GÓMEZ-CAMACHO, J., PÉREZ-BERNAL, F. & PITA-LÓPEZ, M. F. 2008. A novel approach to precipitation series completion in climatological

- datasets: application to Andalusia. *International Journal of Climatology*, 28, 1525-1534.10.1002/joc.1657.
- RAMOS CALZADO, P. 2003. *Análisis de las precipitaciones en Andalucía occidental a escala comarcal*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General Técnica. Instituto Nacional de Meteorología.
- REDIAM. *Red de Información Ambiental de Andalucía* [Online]. Consejería de medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junata de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM> [Acceso 12 de julio 2015].
- RODRIGO, F. S. 2002. Changes in climate variability and seasonal rainfall extremes: a case study from San Fernando (Spain), 1821-2000. *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 193-207
- RODRIGO, F. S., ESTEBAN- PARRA, M. J., POZO-VÁZQUEZ, D. & CASTRO DÍEZ, A. Y. 2000. Rainfall variability in southern Spain on decadal to centennial time scales. *Int. J. Climatol*, 20, 721-732
- RODRIGO, F. S., GÓMEZ-NAVARRO, J. J. & MONTÁVEZ GÓMEZ, J. P. 2012. Climate variability in Andalusia (southern Spain) during the period 1701-1850 based on documentary sources: evaluation and comparison with climate model simulations. *Clim. Past*, 8, 117-133.10.5194/cp-8-117-2012.
- ROMERO, R., GUIJARRO, J. A., RAMIS, C. & ALONSO, S. 1998. A 30-year (1964–1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study. *International Journal of Climatology*, 18, 541-560.10.1002/(sici)1097-0088(199804)18:5<541::aid-joc270>3.0.co;2-n.
- ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.10.1002/(sici)1097-0088(199904)19:5<557::aid-joc377>3.0.co;2-d.
- RUIZ-SINOGA, J. D., GARCIA-MARIN, R., GABARRON-GALEOTE, M. A. & MARTINEZ-MURILLO, J. F. 2012. Analysis of dry periods along a pluviometric gradient in Mediterranean southern Spain. *International Journal of Climatology*, 32, 1558-1571.10.1002/joc.2376.
- RUIZ SINOGA, J. D., GARCIA MARIN, R., MARTINEZ MURILLO, J. F. & GABARRON GALEOTE, M. A. 2011. Precipitation dynamics in southern Spain: trends and cycles. *International Journal of Climatology*, 31, 2281-2289
- SAIH. *Sistema Automático de Información Hidrológica de las Cuencas del Guadalquivir - Guadalete y Barbate* [Online]. Disponible: <http://www.chguadalquivir.es/saih/> [Acceso 15 de junio 2015].
- SAMPEDRO SÁNCHEZ, D. & DEL MORAL ITUARTE, L. 2014. Tres décadas de política de aguas en Andalucía. Análisis de procesos y perspectiva territorial. 53. Disponible: <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/1448/2476>.

- SNIRH. *Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos* [Online]. Disponible: <http://snirh.pt/> [Acceso 28 de mayo 2010].
- SOTILLO, M. G., RAMIS, C., ROMERO, R., ALONSO OROZA, S. & HOMAR, V. 2003. Role of orography in the spatial distribution of precipitation over the Spanish Mediterranean zone. *Climate Research*, 23, 247-261
- STEINER, D. 1965. Multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification. *Tijdschrift van het Aardrijkskundig Genootschap*, 329-347
- ŠTĚPÁNEK, P. 2003. *AnClim - software for time series analysis* [Online]. MU, Brno: Dept. of Geography. Fac. of Natural Sciences. Disponible: <http://www.climahom.eu/software-solution/anclim> [Acceso 5 abril 2008].
- ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I., GARCÍA-VERA, M. A. & STEPANEK, P. 2010. A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity. *International Journal of Climatology*, 30, 1146-1163.10.1002/joc.1850.
- WHITEMAN, C. D. 2000. *Mountain meteorology: fundamentals and applications*, Oxford, Oxford University Press.



## **SEGUNDA PARTE**

### **MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN**

*Capítulo 3. Clasificaciones climáticas y regionalización*

*Capítulo 4. Métodos de regionalización de la precipitación*





# CAPÍTULO 3

## CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS Y REGIONALIZACIÓN

- 3.1. Introducción.** Dificultad de precisar los conceptos de clasificación y regionalización
  
- 3.2. Clasificaciones y regionalizaciones climáticas. Breve aproximación histórica**
  - 3.2.1.** Los orígenes de las grandes clasificaciones mundiales (s. XIX- 1945).
  - 3.2.2.** La revolución cuantitativa en la climatología geográfica (1945-1970)
    - 3.2.2.1.** Consideraciones generales en el seno de la geografía física
    - 3.2.2.2.** Una etapa difícil para la climatología geográfica
  - 3.2.3.** Desde los años 70 hasta la actualidad
    - 3.2.3.1.** La preocupación medioambiental en climatología
    - 3.2.3.2.** El presente de las clasificaciones y regionalizaciones climáticas
  
- 3.3. ¿Es lo mismo clasificar que regionalizar?**
  - 3.3.1.** Dimensión geográfica de estos conceptos
  - 3.3.2.** Fundamentos básicos de las clasificaciones climáticas
    - 3.3.2.1.** Singularidad de los *sistemas* de clasificación
  - 3.3.3.** Una mirada desde otras disciplinas
  - 3.3.4.** Concepto y utilización actual de estos términos
  - 3.3.5.** Regionalización y climatología regional
  
- 3.4. Consideraciones geográficas sobre las regionalizaciones climáticas**
  - 3.4.1.** La escala de trabajo
  - 3.4.2.** Cartografía y representación espacial
  - 3.4.3.** El problema de las fronteras espaciales
  - 3.4.4.** Importancia de las redes de medición climática
  - 3.4.5.** Regionalizar es, a pesar de su aparente objetividad, un proceso subjetivo
  
- 3.5. Conclusiones sobre las regionalizaciones climáticas**

### 3.1. Introducción. Dificultad de precisar los conceptos de clasificación y regionalización

Si existe un ámbito dentro de la geografía que haya dedicado esfuerzo y dedicación a las clasificaciones es, sin lugar a dudas, la climatología (Balling, 1984). Sin embargo esto no implica un gran avance ya que, como comenta en su introducción este mismo autor, los más de 200 ejemplos recogidos en la tesis de Borgel, dedicada a la *Naturaleza y tipos de clasificaciones climáticas* (Borgel 1966 citado *Op.Cit.* p.1), no tienen gran interés científico debido al cuestionable valor de muchas de ellas.

A partir de 1970 comienzan a aparecer algunos estudios que destacan por la aplicación de nuevos esquemas que enlazan con una tradición iniciada en la década de 1870, cuando aparecen las primeras clasificaciones climáticas que introducen, al menos en parte, una base matemática (De Candolle, 1874; Supan, *Op.Cit.* p.1)). Poco después, Köppen (1884) publica el primero de los muchos trabajos que se sucederán abordando directamente la cuestión de las clasificaciones climáticas.

Una de nuestras tareas es identificar regiones con patrones de comportamiento pluviométrico similar, esta labor entronca con una de las tradiciones más clásicas de la Geografía: clasificar, establecer tipologías para entender y caracterizar la diversidad de la Tierra y del medio. De esta forma nos hemos acercado a una de las cuestiones clave de nuestra disciplina tal y como indica Olcina Cantos cuando dice: “No existe en Geografía problema tan importante como el de las diferenciaciones espaciales. En efecto, desde antiguo ha preocupado la explicación de las diferencias existentes entre unas y otras partes de la superficie terrestre. La descripción de estas particularidades y la elaboración de criterios necesarios para entender su distribución espacial ha sido una tarea común de la geografía desde época griega” (Olcina Cantos, 1996).

En ese mismo sentido se manifiesta Ahmed “la clasificación climática en la geografía es un camino importante por el cual la realidad climática se traduce a nivel regional en mapas o en otras formas de representación de la información geográfica. El objetivo principal de tales regionalizaciones es establecer un marco sencillo y completo para obtener generalizaciones inductivas sobre las variables climáticas” (Barrett 1974 y Grigg, 1965 citado por Ahmed, 1997).

El uso de ciertas clasificaciones climáticas sigue siendo parcial, algunas que prevalecieron en décadas anteriores han dejado de ser válidas por presentar deficiencias constatadas al ser aplicadas en diferentes partes del mundo; el problema reside en que no existe un método unánimemente aceptado por todos los climatólogos.

Clasificar plantea muchas dificultades, pero el problema de mayor importancia a la hora de llegar a una clasificación aceptable es la naturaleza compleja del propio clima.

Cualquier iniciativa que intente establecer un método simple, generalizado y universal tendrá sus inconvenientes pues un método desarrollado para una zona puede no ser válido en otra. Tal es el caso de la clasificación del estadounidense Thornthwaite (1948), criticada fundamentalmente por haber basado su desarrollo únicamente en los Estados Unidos, lo que hace que no ofrezca buenos resultados en otras partes del mundo (*Op. Cit.*, p. 2).

Nuestro estudio entronca, por tanto, con una de las temáticas clásicas y recurrentes en climatología: las clasificaciones, y las regionalizaciones que de ellas se derivan. Parece pertinente pues, comenzar reflexionando sobre el propio significado del término **regionalizar**, incluido en el título de nuestro estudio, poco frecuente y escasamente incorporado a la teoría climatológica. Afirmaciones encontradas en diversas investigaciones nos han llevado a cuestionar su significado preciso cuando se indica, por ejemplo, que “parece que el concepto de regionalización ha quedado desechado como un fin en sí mismo pasando a ser, acertadamente, **una forma de clasificación**” (Grigg, 1965 citado por Capel Sáez, 1981, p.390), o cuando Bunge afirma que “la similitud entre una regionalización y una clasificación científica parece tan cercana que ha hecho creer a los geógrafos que han redescubierto, de forma independiente, la lógica completa de los sistemas de clasificación” (Bunge, 1962, citado por Dikshit, 2006, p.195).

Ante estos planteamientos establecidos por geógrafos tan destacados parecería un atrevimiento incluso insistir en este debate que, por otro lado, fue intenso durante los años 60.

La distinción entre clasificar y regionalizar sigue suscitando interés por ser una cuestión relevante no sólo para la climatología sino también para la Geografía física en general, ya que muchos de los interrogantes que suscitan son de gran trascendencia geográfica.

Si mantenemos el término regionalizar en el título de la tesis en lugar de haber optado por Clasificación pluviométrica de Andalucía o similar, es porque la equiparación de estos dos términos no es evidente y continúa siendo objeto de debate.

En primer lugar nos cuestionamos si regionalizar es lo mismo que clasificar o zonificar, desde un punto de vista geográfico y sobre todo climatológico. La búsqueda de esta respuesta nos ha llevado a indagar sobre la utilización de estos términos en trabajos similares y en otras disciplinas, lo cual ha enriquecido y ampliado el ámbito de nuestra reflexión.

Nos hemos adentrado, igualmente, en cuestiones epistemológicas relacionadas con las técnicas cuantitativas estadísticas que sustentan y centran nuestra investigación; nos planteamos su sentido geográfico ya que, en sí mismas, pueden considerarse meros artificios estadísticos aplicados a un conjunto de datos.

Nos parecía que necesitábamos encontrar un marco teórico, dentro de la Geografía y la Climatología, que sustentara y enriqueciera nuestros resultados y el sentido último de la aplicación de técnicas cuantitativas. No queríamos caer en la afirmación de Habermas de que, “haciendo de la creencia de las ciencias en sí misma un dogma, el positivismo asume la función coercitiva de proteger la investigación científica de la autorreflexión epistemológica” (Habermas, 1978, citado por Unwin, 1972, p. 217).

Puesto que para la mayoría de los geógrafos físicos el positivismo lógico continúa siendo un firme pilar de la investigación, porque es capaz de producir resultados útiles, consideramos que sigue siendo relevante reflexionar y debatir sobre estas cuestiones en el actual marco neopositivista.

Nuestra inquietud inicial se vio acrecentada por las reflexiones y propuesta del profesor Capel Sáez contenidas en el capítulo XII *Neopositivismo y geografía cuantitativa* cuando afirma: “las cuestiones territoriales objeto de consideración por los geógrafos demandan, no sólo técnicas de análisis, sino también, y sobre todo, ideas y conceptos” (Capel Sáez, 1981). Esta propuesta siguió siendo reivindicada por este autor<sup>1</sup> con quien compartimos la necesidad de indagar en los orígenes de nuestro campo de investigación y en los análisis que deberíamos efectuar. Su invitación a *mover las mentes* y promover un pensamiento reflexivo nos indujo a ahondar en algunas cuestiones epistemológicas relacionadas con nuestra investigación. En este mismo sentido se pronuncia el profesor Marín Vide: “Puede que convenga también ahora reflexionar sobre la importancia de la fundamentación teórica. El caso es que el continuo aprendizaje técnico que exige en la actualidad la práctica de la Geografía cuantitativa detrae potencialidades a la imprescindible reflexión teórica del científico” (Martín Vide, 1994).

Al aproximarnos a cuestiones de tanta trascendencia, constatamos que indagar en las raíces de las clasificaciones, aún limitadas al ámbito de la climatología en el seno de la Geografía, resulta una tarea ardua que incluso puede ser percibida como una dificultad *natural* como ratifica Tim Unwin, tras su experiencia en la universidad de Londres impartiendo durante años un curso de *master* en teoría y práctica de la geografía al afirmar: “quedaron así perfectamente de manifiesto las dificultades con las que se enfrentaban muchos estudiantes al intentar reflexionar acerca de los cambios ocurridos en la práctica geográfica del siglo XX” (Unwin, 1992).

---

<sup>1</sup> Debate surgido en el seno de la Geografía a propósito del artículo publicado por el profesor Capel sobre el papel de las TIGs. Las reflexiones que plantea evidencian su afirmación sobre la necesidad de indagar sobre los cambios extraordinarios que se están produciendo. El problema, según Capel, es que este tipo de cuestiones de fondo “faltan en muchos de los trabajos de especialistas que, en algún caso, son una simple exploración para una posible aplicación de técnicas” CAPEL SÁEZ, H. 2005. Las TIGs en los concursos de habilitación para profesores titulares de geografía humana: una cuestión nada anecdótica. *Biblio 3W GeoCrítica*.

Nuestro trabajo se sitúa, pues, en esa larga tradición geográfica de controversias en la que se sitúa este autor “muchas de las cuestiones abordadas por los geógrafos actuales fueron objeto de debate e investigaciones en siglos pasados, y podemos aprender mucho de una reanudación de algunos de dichos debates; y, en segundo lugar, implica que la expresión concreta de la geografía en cualquier lugar o época es un reflejo de la sociedad en la que se inscribe” (*Op. Cit.*, p. 14).

A partir de los años cincuenta algunos geógrafos que podríamos calificar de visionarios, proporcionaron una dimensión tal a sus hallazgos que tuvieron como consecuencia un cambio de actitud en parte del mundo académico e institucional de su tiempo; son los mismos debates que reaparecen en el contexto de la ciencia actual. Muchas cuestiones vuelven a tomar relevancia dentro de la disciplina en la que aún resuenan ecos de aquellos momentos de avance y cambios.

La denominada por Breton (1991) *Tercera era informática* iniciada en los años ochenta, basada en la generación de tecnologías de la información y desarrollo de la microelectrónica, ha quedado atrás para transitar hacia el *Cuarto Paradigma de la ciencia*, la era de los grandes volúmenes de datos (*Big Data Science*) (*Hey et al., 2009; Kitchin, 2013; Kitchin, 2014*).

Ante los importantes cambios epistemológicos que se están produciendo algunos autores como Kitchin desde la geografía, alerta sobre las nuevas formas de empirismo que declaran *el fin de la teoría, de la ciencia regida por la creación de datos* (*Op. Cit.*).

En este contexto la climatología se une a esta revolución, las grandes bases de datos climáticas y sus centros productores son un modelo de esta nueva realidad, los denominados *data places*, como el *National Center for Atmospheric Research (NCAR)* y los nuevos *científicos de datos (data scientists)*. En sus reflexiones el mismo autor anterior expone: “Los nuevos análisis de datos son innovaciones disruptivas que están reconfigurando en muchos casos cómo se lleva a cabo la investigación. Existe una necesidad urgente de mayor reflexión crítica dentro de la academia sobre las implicaciones epistemológicas que la investigación centrada en los *Big Data* está generando. Una tarea que apenas ha comenzado a ser abordada a pesar de los rápidos cambios que actualmente tienen lugar en las prácticas de investigación” (*Kitchin, 2014*).

A fin de dotar de una perspectiva histórica en la que enmarcar las regionalizaciones, iniciaremos la búsqueda indagando en los orígenes de las clasificaciones climáticas hasta llegar a la actualidad, aparentemente alejada de los contenidos de este capítulo, pero en el fondo muy relacionado como iremos mostrando.

El estudio histórico de las clasificaciones climáticas o bioclimáticas podría ser objeto de un trabajo monográfico sobre este tema pero excede el alcance de nuestra

investigación. De ahí, que solo llevemos a cabo una breve aproximación histórica centrada, principalmente, en la búsqueda de los orígenes de las clasificaciones climáticas en el seno de la geografía física y su evolución hasta la actualidad.

### **3.2. Clasificaciones y regionalizaciones en Climatología. Breve aproximación histórica.**

Sería de gran interés llevar a cabo una revisión histórica exhaustiva y actualizada sobre las clasificaciones climáticas pero excedería los objetivos de nuestra investigación, hay que señalar, sin embargo, que resulta sorprendente que un tema tan importante y *clásico* en climatología haya recibido tan poca atención como ponen de manifiesto los escasos trabajos monográficos llevados a cabo en esta materia.

En la búsqueda de los orígenes de las regionalizaciones hemos considerado necesario, al menos, hacer un breve recorrido histórico que abordaremos centrándonos fundamentalmente en la geografía física y en la climatología.

Comenzaremos recordando que la búsqueda de las diferencias entre clasificar y regionalizar no es nueva y que, como veremos más adelante, es una cuestión aún abierta, debido en parte al extendido uso de estos métodos en diferentes disciplinas y aplicaciones. La atención que hemos prestado a estas cuestiones básicas viene motivada por la necesidad de encontrar un marco de referencia en nuestro estudio, pero también porque pensamos que el interés que nos suscita puede ser compartido por muchos profesionales e investigadores en el ámbito de la geografía.

Al indagar acerca de los conceptos de clasificación y de regionalización en climatología, tenemos que afrontar una serie de cuestiones de gran importancia para la Geografía. Ya en 1965 Steiner plantea: “La regionalización de la superficie terrestre continúa siendo un problema importante sin resolver dentro del campo de la geografía. (...) Muchos elementos cambian de forma gradual, no de forma abrupta, de un lugar a otro y, por tanto la ubicación de límites se rige por criterios subjetivos. Esto es especialmente cierto en el caso de las regionalizaciones climáticas al ser los elementos climáticos variables continuas. Desde la segunda mitad del siglo XIX, los geógrafos y climatólogos han estado luchando por encontrar un sistema racional de clasificación climática” (Steiner, 1965).

En nuestro estudio hemos realizado un breve recorrido histórico sin llevar a cabo una revisión epistemológica exhaustiva, y nos ha sorprendido la dificultad de encontrar en la climatología un reflejo de los cambios históricos acaecidos en la práctica y en la metodología de la geografía como ciencia. No trataremos la historia de las clasificaciones climáticas que ha sido recogida, en parte, por Oliver en su *Enciclopedia*

*del clima*, en la que se puede encontrar una completa recopilación de las clasificaciones más destacadas a nivel mundial (Oliver, 2006a).

Nuestro estudio podría encuadrarse en lo que Ortega Valcárcel (Ortega Valcárcel, 2000) considera *las geografías positivistas* en nuestro caso neopositivistas, cuyos orígenes se situarían en la tradición de aquella *nueva geografía* cuantitativista iniciada a mediados del siglo XX.

Las grandes clasificaciones climáticas surgen a finales del XIX y es ahí donde comenzaremos nuestro breve itinerario distinguiendo, al igual que Castree y Tadaki, tres etapas: una fase anterior a 1945, otra que comienza después de la Segunda Guerra Mundial y finalmente la época moderna (Castree, 2012; Tadaki *et al.*, 2014).

### 3.2.1. Los orígenes de las grandes clasificaciones mundiales (s. XIX- 1945)

Desde la antigüedad hasta el establecimiento de sistemas de clasificación, el clima ha sido empleado como elemento de diferenciación espacial, e incluso algún autor se ha aventurado a esbozar divisiones regionales del mundo en función del factor climático (Olcina Cantos, 1996). En la historia de las clasificaciones geográficas, la climatología es la que proporciona los mejores ejemplos, ya que clasificar definiendo tipos de climas ha sido una de sus principales tareas llevadas a cabo con la finalidad de delimitar, sintetizar y comprender el impacto espacial de los fenómenos climáticos sobre la biosfera.

En el siglo XVIII se sientan las bases de una importante renovación metodológica y conceptual que surge a partir de los avances en los estudios del medio natural. A lo largo del siglo XIX el determinismo ambiental, que impregna el quehacer geográfico, propiciará un gran desarrollo de los estudios relativos al medio físico y entre ellos de los estudios climático (Pita López, 2006).

Las primeras clasificaciones mundiales llevadas a cabo en la década de 1870 serán fruto de la aparición de los instrumentos de medición, de las primeras redes de observación meteorológica y de los primeros estudios *científicos* en climatología.

De Candolle en 1874 y Supan en 1879 introducen, al menos en parte, una base matemática. En 1884 Köppen publica el primero de los muchos e importantes trabajos que se sucederán abordando directamente el problema de las clasificaciones climáticas. Desde entonces se han sucedido múltiples propuestas con el objetivo de definir tipos climáticos y encontrar diferencias y similitudes entre los patrones que se pueden encontrar en las distintas partes del mundo.

Tal como expone Grigg, estas primeras clasificaciones eran *clasificaciones naturales* en un sentido técnico y planteaban un sistema de regiones geográficas que intentaban



abarcar la totalidad de la superficie terrestre. En 1982 Penck en su artículo *Propuesta de una clasificación climática basada en la fisiografía*, plantea que: “En el estudio de la superficie terrestre parece posible usar el clima como base, ya que la interacción de todas las condiciones atmosféricas influye tan claramente sobre el paisaje que es posible la distinción de regiones climáticas sin tener que partir de largas series de registros meteorológicos”. En este sentido M.F. Pita López comenta “De este modo, y a pesar de lo rudimentario de la concepción y del método, empezará a ser conocida la distribución de los distintos tipos de clima sobre la superficie terrestre. Pero, además, esta visión planetaria permitirá el establecimiento de los primeros principios explicativos, de las primeras leyes reguladoras de la organización de este mosaico (...) Los mecanismos clasificatorios darán pie al estudio de las relaciones existentes entre el clima y los restantes componentes del medio, esencialmente la vegetación, que servirá de base para el establecimiento de los umbrales separadores entre los distintos tipos de clima” (*Op. Cit.*, p.11).

La formulación más temprana de clasificaciones está estrechamente ligada a los primeros estudios florísticos que intentaban sistematizar la vegetación del mundo mediante sistemas de clasificación, lo que influyó poderosamente sobre las primeras propuestas y esquemas de organización de los climas (Oliver, 2006b). Esto explica que la mayor parte de las clasificaciones han puesto en relación los tipos climáticos con elementos del medio, especialmente con la distribución de la vegetación. Se consigue así validar y resolver el problema de los límites de las regiones al establecer correspondencias aproximadas entre las fronteras de las grandes zonas climáticas y las que se establecen para las zonas de vegetación. Ahora bien, esta extrapolación no se puede utilizar de forma consistente a escala regional y local dado que suelen producir errores notables. Por otro lado, “una clasificación climática genuina y racional debe basarse únicamente en elementos climáticos y no sobre factores externos” (Steiner, 1965).

Al establecer estos sistemas sus autores han declarado, explícita o implícitamente, que los tipos climáticos se correspondían con los tipos de vegetación natural que predominan en la región geográfica estudiada. Llevando esta idea al extremo se podría concluir que las condiciones climatológicas que condicionan la vida vegetal de cada región, podrían ser mejor expresadas a partir de la existencia de determinados tipos de plantas sin necesidad de constatar estas condiciones a través de datos meteorológicos. Con base en este criterio, los diferentes tipos de clima del mundo se establecerían sobre la base de la existencia de diferentes tipos de plantas, lo cual constituirá una de las críticas que estos grandes sistemas de clasificación recibirán posteriormente y determinarán que otras propuestas de esta naturaleza, como el planteado por el botánico danés Raunkiaer, no se hayan consolidado (Contreras Arias, 1942).

A pesar de que este tipo de clasificación natural ofrece una explicación satisfactoria y teóricamente posible acerca de las diferencias entre zonas, Grigg advierte de que muchos geógrafos han permanecido demasiado tiempo en esta quimera (Grigg, 1965). Las primeras clasificaciones intentaron explicar las variaciones regionales de la totalidad de los elementos en la superficie terrestre, y se asumió que la actividad humana variaba espacialmente debido a que estaba controlada principalmente por el entorno físico. Como comenta Pita López, en esta etapa se constituye también “otra tradición muy fructífera en la climatología geográfica: la tradición espacial”, aunque “los excesos de esta tradición ecológica contribuirán de manera significativa a sumir a la climatología en uno de sus momentos más oscuros: la primera mitad del siglo XX en sentido amplio” (Pita López, 2006).

En efecto, aquel determinismo geográfico perdió pronto su validez para la investigación, al menos como base satisfactoria para establecer nuevas clasificaciones. No obstante continúan apareciendo importantes contribuciones a principios del siglo XX como la clasificación de Köppen de 1936 que revisada posteriormente en 1953 por dos de sus alumnos, Geiger y Pohl, se convierte en el foco central de la investigación climatológica, sobre todo a partir de la aparición del popular mapa Köppen-Geiger.

Alrededor de 1930 sucede algo inesperado: *aparece la tercera dimensión de la atmósfera*. Hasta entonces, el estudio del clima se había limitado a descripciones basadas en mediciones sin tener en cuenta la interpretación de la dinámica atmosférica.

Entre 1920 y 1930, la obra de Bjerknes y sus estudiantes reveló el funcionamiento de las masas de aire lo que determinó el cambio en los objetivos de análisis *de la tierra al cielo*, y el estudio del clima se *deslocaliza*, centrándose ahora en la formación y desarrollo de sistemas meteorológicos en lugar de observar sus efectos sobre las diferentes regiones de la tierra. Surge así lo que Bergeron y sus estudiantes de Bjerknes denominaron “climatología dinámica” y se separa, también en estos momentos la meteorología de la climatología tradicionalmente ligada a la geografía (Skaggs, 2004) Este hecho, unido al determinismo ambiental que había predominado en el seno de la geografía hasta entonces, propició el abandono de aspectos relevantes de esta corriente para la geografía física como son el estudio de los procesos del medio físico, la búsqueda de aspectos explicativos y el ejercicio de una climatología más aplicada.

Capel Sáez concluye “que este proceso de constitución de la nueva climatología supone el abandono de las tradiciones espacial y ecológica que habían presidido las realizaciones de la primera etapa y que tan fértiles resultados habían producido, no sólo en el seno de la climatología, sino en el conjunto más amplio de la geografía” (Capel Sáez, 1983).

La búsqueda de grandes sistemas de clasificación mundiales desde esta perspectiva *desparece* como objetivo fundamental de la investigación climática, así como la búsqueda de una mejor descripción y comprensión de los climas regionales. Desde entonces convivirán dos tendencias en los sistemas climáticos de clasificación: las denominadas clasificaciones genéticas, fundamentadas en los factores que originan la diversidad climática (como radiación solar, circulación de la atmósfera y masas de aire), y las llamadas empíricas, ligadas a esta tradición anterior y basadas en elementos del clima combinados en índices (Oliver, 2006b).

Podemos concluir que en este momento finaliza el auge de la que ha sido denominada *La época clásica de clasificaciones climáticas* (Rohli y Vega, 2013), en la que se construyen sistemas basados en el clima a pesar de apoyarse fuertemente en la relación con sus efectos sobre los sistemas naturales. A partir de entonces esta línea va a adquirir un carácter aplicado, pasando a ser el clima un componente más en los sistemas de clasificación. Las propuestas que aparecen son tan diversas como los ámbitos sobre los que el clima ejerce su influencia (Oliver, 2006a).

Llama la atención cómo la mayor parte de las propuestas se realizan entre los años 1940 y 1960, a veces reformulando o actualizando sistemas *clásicos*, como en el caso de la clasificación de Köppen, criticada en 1948 por Thornthwaite, quien demostró con sus trabajos que este sistema no era adecuado para muchas aplicaciones y que sería necesario mejorar y plantear nuevas clasificaciones en el futuro.

El mismo sistema de Thornthwaite es posteriormente modificado en algunas propuestas (Malmström, 1969). No obstante el sistema de Köppen, aunque no ofrece una explicación convincente sobre los elementos clasificados, sigue siendo, con sus posteriores versiones modificadas como la de Köppen-Geiger, el sistema de clasificación del clima predominante en estudios de todo el mundo.

Cerrando esta tradición aparecen trabajos recientes como el sistema de Papadakis en 1996, la clasificación para Europa de Rivas Martínez (Rivas-Martínez and Rivas-Sáenz, 1996-2009), actualizaciones del sistema de clasificación de Thornthwaite (Feddema, 2005) entre otros.

### **3.2.2. La revolución cuantitativa en la climatología geográfica (1945-1970)**

A partir de la década de los años 40 se producen avances muy importantes en diversos campos de la ciencia que confluyen y se retroalimentan, impulsando nuevos descubrimientos metodológicos y campos de aplicación.

El desarrollo de los métodos estadísticos, especialmente los multivariantes y su aplicación a la psicología, la ecología y la taxonomía, propician el desarrollo de estas

técnicas que llegan a la Geografía impulsando lo que se denominará la *Taxonomía regional* (Spence y Taylor, 1970). Es entonces cuando se desarrollan la mayoría de los métodos cuantitativos que, unidos al avance computacional permiten por primera vez, abordar estudios sobre las *regionalizaciones* con bases similares a las de nuestro estudio.

Estas técnicas fueron desarrolladas para resolver problemas de clasificación ajenos a la geografía y, como citan Spence y Taylor tomando las palabras de MacNaughton-Smith en 1961, “a medida que la taxonomía en su sentido más amplio ha pasado de ser un arte semi-intuitivo de clasificación a utilizar métodos más objetivos, sus aplicaciones en muchos campos han fomentado el desarrollo de técnicas numéricas”. La escuela de *Taxonomía Numérica* de Sokal y Sneath potencia desde los años 50 la aplicación de métodos cuantitativos definiendo estos procedimientos como “la evaluación numérica de la afinidad o similitud entre unidades taxonómicas y la ordenación de éstas en *taxa* basado en estas afinidades” (Sokal, 1963 citado por Spence y Taylor, 1970, p. 37).

Siendo muy numerosa la bibliografía que trata sobre la geografía cuantitativa, hemos optado por seleccionar algunas ideas de los principales autores que han investigado en este ámbito y que sintetizan los aspectos fundamentales de esta etapa. Gómez Mendoza y otros lo resumen así: “Las transformaciones que se producen en amplios sectores del conocimiento a partir de los años cincuenta que afectarían decisivamente al campo del conocimiento geográfico, han podido ser valoradas como una verdadera *revolución científica* (...) posibilitada por el acercamiento profesional, durante la segunda guerra mundial, de diversos y, en principio heterogéneos, campos del saber. Lo cual conllevó una interpretación conceptual y metodológica que (...) se traduciría en una sustancial reformulación de los planteamientos cognoscitivos. Y esa reformulación se dirige fundamentalmente hacia el dominio de los conocimientos humanos y sociales: porque, en efecto, en el campo de las ciencias naturales el proceso, aunque también actuante, aparece en gran medida como culminación y consolidación de perspectivas cognoscitivas más tempranamente adoptadas” (Gómez Mendoza et al., 1982, p. 97).

Este último aspecto se produce en la climatología en relación con las clasificaciones climáticas y se puede constatar el esfuerzo por el rigor y la generalización explicativa como herencia de las ciencias biológicas y de la tradición ecológica.

Mattson concluye que “el impacto principal de esta creciente diversidad de intereses queda reflejado en una cada vez mayor especialización de la disciplina. A la vez el geógrafo fue aproximándose a otras disciplinas de la rama de las ciencias sociales, principalmente la sociología y economía, pero también a la antropología y arqueología e incluso a las ciencias físicas (biología, ecología), salvando de este modo las distancias entre disciplinas, y acercando así los geógrafos a otros científicos sociales, a otros campos de la investigación, y a otros métodos e ideas. Todo ello contribuyó al

desarrollo de la disciplina (...), a una creciente cooperación interdisciplinaria, reflejados posteriormente en cambios en las instituciones y en los planes de estudios” (Mattson, 1978).

En efecto, “los nuevos planteamientos incorporan a los diferentes ámbitos del saber los criterios conceptuales y metodológicos utilizados por las ciencias físicas (...) como modelo indiscutible de todo saber que se pretenda rigurosa y coherentemente científico. (...) la aplicación del lenguaje matemático y, por tanto, del lenguaje lógico. Esto supone una homogenización metodológica del conocimiento por parte de todas las ciencias *no físicas* que adoptan el método científico de forma generalizada desde los años 50, diferenciándose entre ellas sólo por su objetos, técnicas especializadas y estadios de evolución (Bunge, 1972). (...) Las nuevas perspectivas geográficas analíticas conllevan una severa crítica y un expreso rechazo de los planteamientos, predominantemente regionales o corológicos, de la geografía clásica precedente. (...) Resulta necesario reformular, en términos fundamentalmente teóricos, una perspectiva geográfica capaz de analizar rigurosamente, con criterios de estricta científicidad lógica, las leyes articuladoras del orden espacial investigado. Porque es el análisis de las regularidades, de las leyes, del orden del mundo cognoscible lo que debe caracterizar definitivamente, al igual que sucede en cualquier campo científico, el horizonte epistemológico de la ciencia geográfica” (Gómez Mendoza et al., 1982, p. 98).

La insatisfacción con los planteamientos de los estudios geográficos regionales motiva la búsqueda de un cambio de enfoque hacia aproximaciones más sistemáticas y especializadas (Johnston, 1979). Los avances en taxonomía por parte de la zoología, la botánica y otras disciplinas y el empleo de métodos y técnicas de la *ecología factorial*, se incorporan a la geografía enriqueciendo la investigación y sus planteamientos epistemológicos. En la década de los 60, Berry incorpora estos procedimientos a los problemas regionales en algunos de sus estudios de geografía urbana, iniciando el uso de las técnicas multivariantes en geografía. Como expone Johnston, “los geógrafos han intentado recientemente poner su tema en una base científica suficiente. Mucho se ha escrito sobre la idea de región en geografía, pero la mayoría de las clasificaciones hasta la fecha se han realizado basándose en juicios de valor personales o subjetivos.(...) Sólo recientemente los geógrafos han sido capaces de recurrir a las ciencias más desarrolladas y aplicar sus modelos estadísticos” (Johnston, 1968).

Mattson considera que desde “los años cuarenta y principios de los cincuenta, fueron un período de reflexión, reorientación y redefinición del campo de la geografía. (...) En cierta manera el movimiento cuantitativo fue una búsqueda de la unidad a través del método, un nuevo conjunto de técnicas más o menos comunes a todos los aspectos de una "ciencia" geográfica moderna. Pero, al mismo tiempo, la adopción indiscriminada de ciertas ideas, métodos y teorías nuevas, dio lugar a una especie de crisis de

identidad dentro de la geografía, que quedó sin coherencia interna, sin consistencia teórica” (Mattson, 1978).

Bosque Sendra explica que “este viraje profundo de la ciencia geográfica no tiene lugar de forma aislada, sino unido a las nuevas corrientes neopositivistas que surgen durante el siglo XX, como una forma de superación de los limitados planteamientos del siglo XIX rechazados por ser considerados deterministas, mediante una nueva proposición: la formalización lógica de los discursos científicos. Los avances experimentados por las ciencias naturales en la introducción de lenguajes claros y rigurosos, capaces de estructurar los conocimientos propios de cada disciplina”(Bosque Sendra *et al.*, 1983).

Dikshit se une a esta corriente diciendo que “el movimiento hacia la cuantificación en geografía que había comenzado en la década de los 40 fue desarrollándose siguiendo los postulados de Ackerman y Sheaffer promoviendo una geografía de naturaleza más teórica y sistemática. Una nueva generación de geógrafos, desencantados del paradigma regional basado en un análisis fundamentalmente descriptivo (*areal analysis*) comenzó, desde mediados de los años 50, a abandonar este enfoque hacia un *análisis espacial (spatial analysis)*. Este cambio de perspectiva provoca que el énfasis pase de las *áreas* al *espacio*, de la *descripción* al *análisis*, y de lo *ideográfico* a lo *nemotécnico* y supone, además, la adopción de la metodología científica a través de la aplicación cada vez más abundante de los métodos cuantitativos de análisis”.

En los años sesenta los nuevos geógrafos se convierten en científicos de lo espacial centrados en el estudio de los patrones espaciales (Dikshit, 2006). Esta nueva visión de la ciencia traspasa las barreras de lo puramente metodológico para introducirse en el terreno filosófico-científico. No resulta extraño constatar, como comenta Bosque Sendra que, cuando Schaefer plantea en 1953 la necesidad de un giro radical de la ciencia geográfica, proponga no sólo un cambio de método, sino también de objeto. “Si es necesario construir leyes y generalizar, la geografía regional, en la que prima el estudio de lo único dentro de la concepción de las ciencias ideográficas, debe ser abandonada. El nuevo campo de actuación geográfica debería ser la búsqueda de las leyes del orden espacial” (*Op. Cit.*, 1983, p.1).

No hay que olvidar que a partir de los años sesenta queda definitivamente articulada por Bertalanffy la teoría general de sistemas que completa las características fundamentales del horizonte geográfico analítico del momento. La perspectiva sistémica aporta una formulación teórica y una articulación conceptual particularmente adecuada para la investigación de las diversas modalidades del orden espacial que centran la atención de la cientificidad analítica (Gómez Mendoza *et al.*, 1982, p. 115).

La revolución cuantitativa alcanza su cenit entre 1957-1960 y puede decirse que finaliza en 1963, año en que Burton escribe “Una revolución intelectual acaba cuando las ideas revolucionarias en sí mismas pasan a formar parte de la sabiduría convencional”. Entre los 60 y en los 70 se sigue constatando que esta *revolución metodológica* sigue viva impulsando a muchos autores a escribir acerca de las clasificaciones y regionalizaciones.

Bradshaw, en su artículo sobre *El futuro de la geografía cuantitativa*, comenta cómo en la década de los años 60 muchos de los conceptos neopositivistas que constituían los pilares de la geografía cuantitativa comenzaron también a ser objeto de un análisis crítico. El rechazo de las ideas más simplistas sobre la concepción de la *geografía como ciencia espacial* condujo hacia ámbitos de estudio más amplios, tales como los propuestos por la geografía del comportamiento o radical (Bradshaw, 1983). Los propios geógrafos cuantitativos también criticaron y pusieron de manifiesto algunos problemas en los recursos formales y metodológicos que surgían en diversas aplicaciones geográficas.

Mattson lo expresa así: “esta revolución dentro de la ciencia geográfica se corresponde bastante bien con lo que Kuhn y Johnson estudiaron y plantearon en el caso de las ciencias físicas y económicas, respectivamente, es decir con la aparición, crisis y reemplazamiento de un paradigma científico. En el caso concreto de la geografía cuantitativa, esta logró en menos de diez años superar el viejo paradigma de la geografía tradicional e imponer uno nuevo, pero este a su vez evidencia una creciente incapacidad para aportar respuestas a nuevas preguntas y problemas, y queda abierto a la crítica”(Mattson, 1978).

Los comentarios de Martín Vide son concluyentes al respecto: “Pero la geografía cuantitativa era la Nueva Geografía más con un carácter sustantivo que calificativo, por lo que no perdió su adjetivo *nueva*, ni cuando otros paradigmas surgieron como reacción a ella (...), no desplazaron a la Nueva Geografía de unos desarrollos e investigaciones aplicados y actuales, en constante búsqueda de las técnicas y los métodos más convenientes para el tratamiento de los problemas planteados, aunque ello significara el reciclaje permanente, la renovación continua” (Martín Vide, 1994).

### Consideraciones generales en el seno de la geografía física

El resumen del estatus y tendencias de la geografía física incluido en el volumen conmemorativo de los Anales de la Asociación de Geógrafos Americanos de sus primeros cien años comienza afirmando: *Los geógrafos físicos siempre han respondido a los cambios de metodología y a los desarrollos de mayor envergadura que ocurren en las ciencias de la tierra y las ambientales* (Aspinall, 2010).

En los últimos años en la geografía física y humana ha surgido un creciente interés por la historia de la revolución cuantitativa. A pesar de que las tendencias analíticas o lógico-matemáticas del conocimiento geográfico quedan definitivamente articuladas desde los años cincuenta para ambas ramas, existen diferencias en el seno de la disciplina que se traducen en una más fácil y temprana asimilación de la cientificidad analítica por parte de la geografía física. Ésta fue permeable desde finales del siglo XIX a los inicios cuantitativos impulsados por las ciencias naturales afín en sus objetivos. Destacan en este sentido los numerosos trabajos dedicados específicamente al análisis espacial en el dominio de la geomorfología y, concretamente, en el terreno de la climatología donde los planteamientos analíticos no hacen sino responder a las necesidades inherentes, y apenas discutidas, de ese sector del conocimiento geográfico (Gómez Mendoza et al. 1982, p. 104).

Cuando surgen las primeras clasificaciones la geografía física, que dominaba entonces la disciplina, consideraba las características geográficas del medio y entre ellas el clima como *determinantes* en la actividad humana.

A estos inicios sigue un segundo momento *regional* en el que el medio físico se concibe como *estático* y que sólo debía ser descrito por los geógrafos como parte del análisis regional. La geografía física y la climatología que hasta entonces habían experimentado un declive progresivo resurgen, después de la Segunda Guerra Mundial, dando comienzo un periodo en el que aumenta la diversidad de temáticas y métodos para estas dos disciplinas (Skaggs, 2004).

Durante los años 1950 y 1960 la geografía física se adhiere a la revolución cuantitativa que se estaba produciendo en el campo de las ciencias de la tierra. Un nuevo tipo de geografía física que acentuaba su preocupación por los procesos dinámicos de los sistemas terrestres comenzó a surgir. Este nuevo enfoque, que ha evolucionado hasta la actualidad, se fundamenta en principios de física, química y biología, emplea la estadística y el análisis matemático, y se ha dado a conocer como *la geografía física de los procesos* (Gregory et al., 2002).

Otro aspecto fundamental a destacar, es el papel de Corley (1962) que introdujo los conceptos de la teoría general de sistemas de Bertalanffy en el campo de la geomorfología y la geografía física, lo que proporcionaría un nuevo marco teórico para muchas de las investigaciones realizadas en la década de los sesenta.

Como expone Rhoads (Rhoads, 2004) esta *nueva geografía física* se caracterizó por varios hechos: en primer lugar, los cambios que se produjeron en estos años son prácticamente similares en las dos ramas de la geografía, uniendo inicialmente la geografía física y humana, al menos desde un punto de vista metodológico, al abrazar



ambas la cuantificación y la modelización. Ya Schaefer en 1953 propone la aplicación de un enfoque sistémico que consiga reemplazar a los estudios regionales.

La publicación de Chorley y Haggett *Las fronteras en la enseñanza geográfica* (Chorley y Haggett, 1970) es un ejemplo que muestra cómo los métodos cuantitativos eran empleados de forma muy parecida en todas las ramas de la geografía, y que estos cambios ya se integraban en la enseñanza universitaria.

En estos momentos se divide la geografía física en diferentes especialidades, con un notable desarrollo de cada una de ellas aunque aislándose científicamente cada vez más unas de otras. Por último, sus contenidos se solapan considerablemente con las *grandes* disciplinas de las ciencias de la tierra, provocando cierta inseguridad sobre el carácter específico de estas especialidades en el objeto de su investigación. En el caso de la climatología se recogen estos cambios en diversos trabajos (Carleton, 1999; Mather *et al.*, 1980; Terjung, 1976; Williams, 1961).

Sin embargo esta renovación dentro de la geografía física queda prácticamente restringida a la geomorfología como prueban los escasos trabajos y reflexiones realizadas en otras de sus ramas. En la introducción del trabajo de Keylock, dedicado a la geomorfología y la revolución cuantitativa, aparecen reflexiones centradas en la geografía en las que únicamente se mencionan, como ejemplos de otras ramas, obras sobre geología e hidrología, como si no existiesen otros estudios del medio físico. Estos trabajos, centrados en la crítica a la perspectiva *davisiana*, suponen un giro importante hacia el estudio de los procesos y los modelos dinámicos (Keylock, 2003). Ni en estos estudios, ni en otras investigaciones que analizan la revolución cuantitativa en la geografía física, se mencionan la climatología y la biogeografía.

La publicación casi simultánea de dos libros significativos de la nueva actitud, y de título casi idéntico: la *Theoretical Geomorphology* de Sheidegger en 1961, que constituye un importante hito en el triunfo de la geomorfología cuantitativa, y la *Theoretical Geography* de W. Bunge en 1962, que desempeña el mismo papel en el desarrollo de la nueva geografía neopositivista (Capel Sáez, 1983), avalan el comentario de H. Capel, de que "La preocupación por el desarrollo de una teoría formalizada aparece en esta nueva geomorfología casi al mismo tiempo que en la *nueva geografía*". Esta coincidencia refleja el avance de la geomorfología en la misma dirección de los cambios que se están produciendo en la ciencia en estos momentos.

La influencia posterior de todos estos estudios fue decisiva para orientar el trabajo de geógrafos como Strahler, de la Universidad de Columbia, que iniciaron el perfeccionamiento y la innovación de los programas de estudio y que acabarán transformando toda la geografía. Todo ello provocó una sinergia que se tradujo en un entusiasmo dinamizador de las bases de la geomorfología, con un aumento de los

trabajos sobre *procesos*, aplicando técnicas estadísticas y análisis dimensional al análisis de datos (Strahler, 1958). Strahler inicia así una *nueva* geomorfología que atrae a un destacado grupo de estudiantes cuyos trabajos dominaron la geomorfología entre los años 60 y 70 (Keylock, 2003).

La asimilación de las nuevas perspectivas, analíticas y sistémicas, parece una prolongación natural de su práctica científica, tanto de las perspectivas analíticas como de la geomorfología o de la climatología, lo que tuvo como consecuencia un enriquecimiento de las posibilidades conceptuales y metodológicas. El resultado se traduce en un uso más riguroso y diversificado del lenguaje matemático, fundamentalmente por investigadores anglosajones, y en una estructuración más racional de los resultados de sus investigaciones (Chorley, R.J. 1962, citado por Gómez Mendoza et al. et al., 1982, p. 119).

Por el contrario, entre los geógrafos físicos entroncados con posturas corológicas y geoeológicas de mediados del siglo XX que rechazan las posturas analíticas como un “idealismo” deductivista, la teoría de sistemas es recibida como:

- Un instrumento capaz de resolver los problemas epistemológicos planteados.
- Una fórmula para superar la contraposición entre los enfoques regionales y los generales.
- Una respuesta de utilidad para los nuevos problemas surgidos en la ordenación del territorio y en la conservación del medio ambiente (Tricart, 1979).

La teoría de sistemas, pues, logra conciliar y hacer compatibles las dos aproximaciones que conviven en esta etapa de la segunda mitad del siglo XX.

A mediados del siglo XX, las bases científicas de la climatología, desde una perspectiva geográfica, están definitivamente afianzadas. No obstante, a partir de ese momento aparece en la ciencia una comprensión del clima eminentemente física, que suma a la climatología geográfica en una cierta confusión en cuanto a sus objetivos como veremos a continuación.

### Una etapa difícil para la climatología geográfica

Como señala Pita López, cuando nace la climatología sinóptica o dinámica, “las conexiones clima-medio geográfico están prácticamente ausentes en el discurso climatológico, olvidándose la fructífera tradición que había presidido las primeras

investigaciones en este campo. Se sustituyen, en suma, las antiguas tradiciones geográficas por la más pura meteorología” (Pita López, 2006).

De este modo se produce en la climatología una división entre los geógrafos climatólogos y los meteorólogos dedicados a la dimensión física de la atmósfera, sin quedar claro cuál era el papel de los geógrafos, quién poseía la propiedad del *cielo*, si meteorólogos o geógrafos, ya que a éstos últimos *se les había prohibido* el estudio de *la región*. En 1950 Jones plantea la siguiente pregunta: “Si la climatología geográfica basada en el estudio regional ha decaído y la meteorología reclamaba con fuerza la investigación dinámica de la atmósfera, *¿Qué necesita la geografía de la climatología?* (Jones, 1950).

En aquellos momentos, el debate se centra en la importancia de la climatología geográfica poniéndose de manifiesto las tensiones continuas acerca de su carácter como ciencia aplicada y su función como disciplina. En el artículo de Tadaki, Salmond y Le Heron *Applied climatology: Doing the relational work of climate* se comenta en detalle la coyuntura climática así como el *posicionamiento científico* de grandes climatólogos (Tadaki *et al.*, 2014).

Ante la indefinición acerca del objeto de la climatología geográfica, aparecen diferentes corrientes: una se inclina por conseguir una formación cuantitativa rigurosa argumentando que en la última parte del siglo XIX y la primera parte del siglo XX, la climatología había estado dominada por un enfoque excesivamente descriptivo, igualmente consideraban que no se había llegado a una interpretación física satisfactoria de los fenómenos climáticos, incluso teniendo los conocimientos físicos necesarios. Se parte de la idea de que más que a través de un enfrentamiento con las formulaciones generales de la teoría física (Leighly, 1949; Leighly, 1955) se puede conseguir un tratamiento más racional de los datos climáticos mediante la utilización de conceptos sinópticos. A pesar de esta aparente resistencia la *nueva geografía* provoca cambios similares en su rama climatológica, que acepta incorporar un enfoque más cuantitativo, matemático y orientado a la formulación de leyes en la investigación, aunque diversificando sus aplicaciones en temáticas muy diferentes.

Otra corriente aboga por una actividad más aplicada (Williams, 1961) centrando su atención en las relaciones hombre-medio y abordando incluso ámbitos como el análisis económico de los fenómenos climáticos (Curry, 1952).

Todos estos enfoques adquieren relevancia no como meras *sobras* de la actividad de los meteorólogos, sino como una contribución valiosa para la sociedad, reclamada no sólo por estos autores sino también por parte de muchas instituciones relacionadas con la gestión del clima.

Toman fuerza en estos momentos dos importantes escuelas de pensamiento que tendrán influencia en la climatología geográfica, con contribuciones relevantes que marcarán, en cierto sentido, el futuro de esta disciplina sentando nuevas bases que todavía siguen vigentes en la actualidad:

Por una lado se encuentra la Escuela de Chicago de White y colaboradores que formalizaron al mismo tiempo los estudios sobre la percepción del medio natural, los eventos catastróficos, y que exploraron la respuesta adaptativa de los seres humanos a los peligros ambientales (Burton y Kates, 1964).

La segunda escuela es la de Berkeley, centrada en la geografía cultural de Sauer, que aporta investigaciones muy significativas en climatología recogidas en *La respuesta humana al tiempo y el clima. Contribuciones geográficas* (Sewell et al., 1968). El impacto humano sobre los cambios que experimenta la atmósfera aparece como un nuevo tema de estudio en la investigación geográfica debido, en parte, al desarrollo de nuevos conceptos y técnicas de campo. Se plantean problemas, aún no resueltos por los organismos públicos responsables de la gestión de los recursos atmosféricos, derivados de la posibilidad real del género humano de alterar la atmósfera. Como los propios autores señalan en este trabajo, comienza la *Era moderna de la alteración del tiempo* (*The modern era of weather modification*), y se aviva el debate en torno a las circunstancias en las que la humanidad puede modificar *el clima*, y a la necesidad de investigar en este ámbito.

La importancia de la ampliación del campo geográfico es tan grande que en opinión de Capel Sáez, se ha llegado a mantener que “los estudios sobre la percepción del medio rivalizan con la otra gran ola innovadora en la Geografía moderna, la *revolución cuantitativa*” (Brookfield, 1969 citado por Capel Sáez, 1973). Esta podría ser otra de las razones por las que no se percibe un impacto tan profundo de esta renovación metodológica dentro de la climatología geográfica, a pesar de ser una especialidad de naturaleza eminentemente cuantitativa. Como consecuencia de todo lo anterior, los trabajos sobre clasificaciones y regionalizaciones climáticas se *diluyen* en este panorama ya que sus métodos van unidos a los cambios cuantitativos.

No obstante, algunos autores como Steiner (Steiner, 1965) comienzan a utilizar estas técnicas en climatología con el fin de conseguir una clasificación del clima racional, basada únicamente en elementos climáticos, y sin utilizar factores externos como la vegetación o los suelos. Una de las primeras aplicaciones fue la *Clasificación de los climas de Australia por ordenador* de McBoyle (McBoyle, 1971) ofreciendo como resultado una cartografía de fácil utilización e interpretación a escalas tanto locales como generales.

A pesar de estos ejemplos, hay que señalar que la búsqueda de nuevos horizontes epistemológicos surge fundamentalmente en el ámbito de la geografía física, y más concretamente, desde la geomorfología y que pocos climatólogos participan en estos debates que se viven en el seno de la Geografía. Por citar un ejemplo, en el libro editado por Davies *The conceptual revolution in geography* (Davies, 1972), aunque no pretenda hacer un recorrido por las diferentes especialidades de la disciplina, llama la atención cómo en la tercera sección, dedicada a la *Geografía y la aproximación sistémica* (*Geography and the Systems Approach*), encontramos un capítulo dedicado a la “Geomorfología y la teoría general de sistemas” por Chorley, como tributo merecido a una de las obras más influyentes en el seno de la geografía en general y de la física en particular.

La climatología recibe una escasa atención, como si no formase parte de la revolución conceptual y tan sólo aparece en algunos estudios relacionados con las clasificaciones. En el capítulo de I. Burton dedicado específicamente a la revolución cuantitativa y la geografía teórica (*The quantitative revolution and theoretical geography*), en el apartado dedicado específicamente a la geomorfología y climatología, tan sólo alude a que “no hay nada que objetar a la aplicación de las técnicas cuantitativas en climatología” y que “la solución a los problemas climáticos ha sido efectiva y la calidad de los trabajos no deja lugar a críticas” (Burton, 1972). No aparece ninguna reflexión acerca de cómo los cambios metodológicos y teóricos del momento influyen, ni sobre cómo se aborda la dimensión espacial ante la creciente importancia, más meteorológica que climatológica, concedida a la atmósfera.

Parece como si investigadores del pensamiento geográfico apenas hayan abordado o no han indagado lo suficiente en el devenir de la climatología dentro de la geografía física. Una posible explicación es el nacimiento relativamente tardío de la climatología geográfica lo que no le ha permitido alcanzar un lugar relevante en el seno de la historia de la geografía. Tampoco en trabajos recientes dedicados a la revisión de los cambios epistemológicos en el seno de la geografía física, se hace mención a la climatología y siguen centrándose en la evolución dentro de la geomorfología (Bertani, 2003).

El creciente interés por los procesos físicos y el desarrollo de modelos cuantitativos en geomorfología no fueron los únicos cambios que se produjeron en la conceptualización de la geografía física en los años 50 (Gregroy, 1985 citado por Unwin, p. 166), se produjeron otros influidos, una vez más, por los avances acaecidos fuera de la disciplina. Nos referimos a la creciente atención prestada al cambio climático y a la cada vez mayor aceptación de la tectónica de placas. (...) El calentamiento de la tierra se convierte a finales del siglo XX en el objetivo principal de este tipo de investigaciones.

### 3.2.3. Desde los años 70 hasta la actualidad

La década de 1970 fue un período de efervescencia política y ambiental que supuso una enorme ampliación del campo de intereses de la Geografía, fruto de los avances de la etapa anterior. Encontramos ya una disciplina madura tal como expone Capel Sáez, con “la posibilidad de convertirse en una verdadera ciencia, en el sentido moderno de la expresión, gracias a lo que se ha llamado la *revolución cuantitativa*. Por otro lado, ha adquirido un lugar privilegiado en el panorama de las ciencias sociales gracias a la ampliación de sus contactos y de sus puntos de interés común con otras disciplinas: si los trabajos de los cuantitativistas permiten ya a la Geografía un fructífero intercambio de métodos y de resultados con disciplinas como la Sociología y, sobre todo, la Economía, la aparición de las investigaciones sobre la percepción del medio contribuyen definitivamente a ampliar este horizonte al obligar también a un contacto con la Psicología. (...) Si a eso unimos las tradicionales relaciones que unen a la Geografía con otras ciencias sociales, como la Historia, y las que la enlazan con las disciplinas que estudian el medio físico, comprenderemos la privilegiada situación que ocupa nuestra ciencia en el campo de la ciencia en general” (Capel Sáez, 1973).

El tercer período comienza prácticamente después de la segunda guerra mundial y su consolidación, en la que se incluyen los países del Tercer Mundo, va a producirse en la década de los 70. Es la fase a la que Richta (1968) ha llamado período técnico-científico y que se distingue de los anteriores por el hecho de existir una profunda interacción entre la ciencia y la técnica, hasta tal punto que ciertos autores han preferido hablar de tecnociencia para realzar la inseparabilidad actual de los dos conceptos y de las dos prácticas (Santos, 2000).

A partir de entonces se produce, en opinión de Bradshaw “una *revolución* en la revolución cuantitativa. A comienzos de los años setenta, los geógrafos cuantitativos han dirigido su atención (...) hacia una amplia gama de nuevas técnicas más adecuadas al tratamiento de problemas de investigación actual y a los tipos de datos con que cuentan los geógrafos”(Bradshaw, 1983). Su espíritu innovador y de constante búsqueda sigue vigente, como comenta Martín Vide: “ha sido ese espíritu de renovación sin tregua, de autocrítica y de aplicado aprendizaje en los más conspicuos autores de la Nueva Geografía, además del empeño por acometer problemas reales, lo que ha posibilitado que la Geografía cuantitativa siga presentándose ante practicantes y extraños como nueva. Y, sobre todo, la capacidad de aprehensión, y asunción como propios, de métodos y técnicas de especialidades y disciplinas muy diversas para responder a los retos actuales y futuros. Sigue teniendo, así, el carácter de la *Nueva Geografía*”(Martín Vide, 1994).

Los cambios mencionados en el seno de la climatología analítica habían dado paso al nacimiento de una nueva ciencia, definida por Landsberg en 1987 como la *ciencia del clima*, que ha ido ganando aceptación y prestigio. En esta metamorfosis también ha participado la *climatología geográfica* a pesar de haber estado dedicada, en gran medida, a la clasificación de los climas de la Tierra (Carleton, 1999) desde una perspectiva descriptiva quedando relegada a un segundo plano incluso desde la propia geografía (Creus Novau, 1975).

Aunque a partir de los años 70 las contribuciones climatológicas con base geográfica siguieron aumentando, la climatología toma caminos muy diversos y va centrándose, cada vez más, en el desarrollo de modelos climáticos aplicando los avances informáticos. Esta tendencia iniciada en los años 50 va centrando cada vez más los intereses científicos ya que posibilitan la comprensión de los procesos atmosféricos y sus complejas relaciones.

### La preocupación medioambiental en climatología

Como expone Pita López “la ciencia en una época determinada se mueve a impulsos de la existencia de algún problema que se manifiesta como importante y que es preciso resolver”. Desde los años sesenta la preocupación por el deterioro medioambiental surge “como una de las preocupaciones que más aqueja a la sociedad” a nivel mundial, hasta el punto de que “a comienzos de la década de los setenta alcanzará tal magnitud que la Organización de Naciones Unidas decidirá convocar una conferencia mundial sobre el medio ambiente humano a celebrar en Estocolmo en 1972” (Pita López, 1984), cuyo resultado es el Programa de Naciones Unidas para el medio Ambiente (PNUMA).

Como continúa exponiendo la autora, “la aparición de la preocupación medioambiental va a suponer el aumento progresivo del peso específico de la climatología en el conjunto de las tareas de la Organización Meteorológica Mundial (...) Encontramos los dos centros de interés que el medio ambiente suscita en la OMM: su degradación, en este caso la degradación del medio ambiente atmosférico, como expresión de las relaciones hombre-medio, y la explotación eficiente de los recursos naturales, como expresión de las relaciones medio-hombre. (...) La confluencia de graves problemas de deterioro ambiental que amenazaban con la degradación y el agotamiento de los recursos naturales, y de una noción sistémica de la naturaleza como vía conceptual y metodológica a través de la cual poder resolver estos problemas, hacen que la climatología se inscriba en esta preocupación a través de dos tendencias de investigación fundamentales: el estudio del clima como sistema y el estudio del clima como recurso” (véase para más detalles la publicación de Pita López, 1984).

La preocupación sobre la un cambio en el clima como consecuencia de las actividades humanas determina que el objetivo prioritario de los estudios sea el funcionamiento del sistema climático que se aborda a partir de modelos matemáticos de simulación. Estos permiten confirmar el calentamiento del planeta en la década de 1960 y principios de 1970, iniciándose así una nueva etapa para la climatología y las ciencias atmosféricas. Desde entonces, la modelización constituye el núcleo de una nueva y próspera línea de investigación. Mientras que los modelos climáticos en los años 70 se limitaban a los procesos en la atmósfera, a finales del siglo XX la poderosa tecnología informática ha permitido modelizar todas las envolturas *del sistema Tierra*.

Los avances en torno al cambio climático global y la aparición de instituciones internacionales como el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático han supuesto la revitalización de la ciencia climática. Sin embargo muchas cuestiones continuaron pendientes (Perry 1995), como las políticas de gestión del clima, que comienzan a emerger durante la década de los 80 consiguiendo impulsar a su vez nuevos programas de investigación.

En la década de los 90 se hacen llamadas a investigadores y profesionales para integrar la climatología con las ciencias sociales y económicas, reivindicando lo que Perry llama un *climatólogo completo, versado en las ciencias sociales* (Perry, 1995).

La moderna investigación del clima no se limita a la evidencia empírica y la simulación del cambio climático, sino que aparecen inquietudes de carácter social como la preocupación ambiental (Heymann, 2010). En este contexto la climatología geográfica ha crecido en sus metas de investigación adoptando un enfoque eminentemente aplicado. El conocido interrogante de Terjung resume bien la preocupación de estos momentos: “Si nos limitamos a ser meteorólogos o geólogos, ¿qué pasa con nuestra misión de vincular el hombre y la ciencia?” (Terjung, 1976). Debemos utilizar las mejores técnicas y conocimientos sobre el medio físico y aplicarlos a la resolución de problemas de dimensión humana. Por otra parte, si esos problemas no son abordados por la geografía serán asumidos por otras especialidades aunque sin su punto de vista integrador.

El discurso sobre el calentamiento global cuyas raíces se han vinculado a las ciencias naturales, ha puesto hasta ahora sus expectativas en la mejora de las *predicciones* y en intentar dar solución política a problemas de alcance global. Sin embargo, como comentan algunos autores (Hulme, 2008; Hulme *et al.*, 2009; Mahony, 2013; Offen, 2014), el cambio climático debe ser entendido hoy simultáneamente como una transformación física y cultural, como “una entidad híbrida mutante en que las tensas líneas entre lo natural y lo cultural se están disolviendo y necesita, por lo tanto, un nuevo enfoque. Y este nuevo examen debe tener un punto de partida diferente al del



siglo XX (...). Ante la problemática del cambio climático nuestras reflexiones deben centrarse en analizar también las aportaciones de las humanidades, ciencias sociales y ciencias naturales. Los geógrafos deberían dar respuesta a muchas de las cuestiones planteadas. Tímidos en su dedicación intelectual a la climatología la comunidad de los geógrafos necesita hoy volver a abrazar la idea del clima” (Hulme, 2008).

El *moderno* renacer general de la climatología ha ampliado la dimensión geográfica del clima y ha originado, a su vez, una comprensión totalmente diferente en la que, aunque parezca contradictorio, se hace más difusa la dimensión espacial y local del clima, algo central en la investigación clásica. En primer lugar, el clima deja de ser concebido como algo estable y se concibe como cambiante en el tiempo. Esto provoca, en primer lugar, un desplazamiento del interés científico sobre el clima que pasa de estar centrado en la distribución geográfica de los climas a dedicarse al estudio de sus cambios y variaciones en el tiempo. En segundo lugar, el clima pierde su adscripción, su asociación a un lugar determinado haciéndose global, como una especie de clima mundial (Heymann, 2010).

Estos cambios conceptuales han tenido implicaciones muy significativas en la dimensión de la investigación geográfica del clima que pierde atractivo y se convierte en un campo *marginal*. La investigación de los climas locales o regionales ha sufrido un notable declive, incluso el interés por los propios datos climatológicos, tan utilizados por la climatología clásica, se ha reducido considerablemente. La nueva concepción del clima no ha evolucionado unánimemente y sigue habiendo un sector más clásico de climatólogos explícitamente críticos.

En la actualidad la climatología goza de un estatus casi de *industria en crecimiento* que difícilmente podría imaginarse hace algún tiempo. La evolución no se produce de forma aislada, sino en el contexto de unas condiciones científicas, tecnológicas, sociales, económicas y políticas, que unidas al desarrollo de la climatología como ciencia, propician un enorme y fructífero auge en momentos de *incesante cambio*.

### **El presente de las clasificaciones y regionalizaciones climáticas**

En la historia de la climatología existe una gran diversidad de sistemas de clasificación climática, algunos de ellos ya en desuso, cuyo empleo depende del objetivo que se persiga. Las modificaciones al sistema de Köppen (Köppen 1931, 1936) han ido ganando terreno respecto al original, sobre todo la de Köppen-Geiger (Rudolf Geiger en 1961) y en menor medida la de Köppen-Trewartha (Trewartha y Horn, 1980).

El Sistema de Köppen fue concebido para explicar los climas en amplias zonas geográficas extendidas esencialmente en latitud, como reconoce el mismo autor

cuando dice: “Hasta ahora nosotros (refiriéndose al grupo de trabajo de Köppen) no hemos tomado en consideración ni las diferencias climáticas existentes dentro de las llanuras de las altas latitudes ni en las montañas de las bajas latitudes. En consecuencia, no hay correspondencia a escala regional con las condiciones particulares de sus regímenes de lluvia y sus condiciones de temperatura”. Por esta razón aparecen algunas adaptaciones regionales, como la modificación del Sistema de Köppen elaborado por la geógrafa mexicana García Amaro y publicado en 1964. Este sistema surge debido a que ninguno de los sistemas de clasificación, incluyendo éste, era lo suficientemente detallado para poder expresar, de manera cartográfica, la enorme variedad de climas presentes en México debido a las características fisiográficas de un territorio muy accidentado (Sánchez Santillán y Garduno, 2008).

La gran ventaja del sistema de clasificación de Köppen es que proporciona un método eficiente para resumir en un único valor la síntesis de las variables climáticas y su estacionalidad. Por esta razón ha sido el método más utilizado para describir la distribución potencial de la vegetación natural basado en umbrales climáticos que permiten detectar procesos fisiológicos críticos (Kottek *et al.*, 2006). Otra de las características de este tipo de esquema de clasificación es que es fácil de aplicar en una gran variedad de conjuntos de datos, por lo que se ha venido utilizando para detectar los cambios recientes en los regímenes climáticos globales y regionales. Así mismo se ha empleado en simulación para evaluar los resultados de los Modelos de Circulación General o regional en escenarios futuros, cuyos cambios se traducirán, probablemente, en nuevas combinaciones de factores climáticos, topográficos y edáficos que tendrán un impacto sustancial sobre la distribución y persistencia de especies vegetales y animales (Baker *et al.*, 2010).

En este contexto modelizador y de cambio climático aparece un *nuevo* campo, muy prolífero en clasificaciones climáticas, con nuevas orientaciones e innovaciones metodológicas que buscan básicamente los cambios espacio-temporales de las zonas climáticas y sus efectos sobre los diferentes elementos del medio en el contexto de cambio global.

Gran parte de los trabajos siguen centrándose en la clasificación de Köppen: desde actualizaciones recientes de sus mapas y datos en formato digital de Köppen-Geiger del mundo, válidos para la segunda mitad del siglo XX (Kottek *et al.*, 2006; Peel *et al.*, 2007) y accesibles en la web (<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/>; <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>), hasta aquellos que incorporan las modificaciones espacio-temporales que pueden producirse debidas al cambio climático. Aparecen aproximaciones que utilizan esta clasificación para analizar los cambios temporales en la distribución geográfica de los tipos de clima a escala global (Chen y Chen, 2013; Fraedrich *et al.*, 2001; Hanf *et al.*, 2012; Rubel y Kottek, 2010; Zhang y Yan, 2014a) y a

escala regional (Baker *et al.*, 2010; De Sá Júnior *et al.*, 2012; Gallardo *et al.*, 2013; Gerstengarbe y Werner, 2009; Wang y Overland, 2004).

Existe una importante línea de investigación en la que se aplica la clasificación de Köppen a las salidas de diversos tipos de modelos con el fin de evaluar sus resultados, desde Modelos de la Circulación General (MCG), Modelos de la Circulación General Atmosféricos y Oceánicos, (MCGAO) (Hanf *et al.*, 2012) o regionales, utilizando diversos escenarios de emisiones y diferentes bases de datos climatológicas internacionales disponibles (De Castro *et al.*, 2007; Feng *et al.*, 2012). Los objetivos son muy diversos, desde la detección de cambios en los regímenes climáticos regionales realizados por todo el mundo, como los trabajos centrados en Europa (De Castro *et al.*, 2007; Gallardo *et al.*, 2013; Gerstengarbe y Werner, 2009) (Díaz y Eischeid, 2007; Engelbrecht y Engelbrecht, 2015; Fraedrich *et al.*, 2001; Wang y Overland, 2004), China (Baker *et al.*, 2010; Zhang y Yan, 2014a; Zhang y Yan, 2014b), África (Engelbrecht y Engelbrecht, 2015) o a escala de países como Brasil (De Sá Júnior *et al.*, 2012), hasta la validación de los modelos en el pasado y futuro, o su empleo para representar tanto las tendencias globales del clima observado, como en diferentes escenarios futuros.

Aunque la clasificación de Köppen es la más utilizada, existen también trabajos de este tipo basados en otros sistemas, como la clasificación De Martonne, sobre la que se ha realizado un estudio en Irán utilizando los escenarios climáticos futuros SRES A1B y A2 y diversos modelos (CSIRO-MK3, HadCM3 y CGCM3), cuyas salidas se han *regionalizado* a escalas de detalle generando mapas para diversos periodos y comparándolas entre sí (Rahimi *et al.*, 2013). Otro ejemplo es un estudio en Estados Unidos utilizando una versión modificada del sistema de clasificación de Thornthwaite con el objetivo de conseguir una mejor evaluación del cambio climático a partir del análisis de la humedad y las condiciones térmicas (Grundstein, 2008). Así mismo podemos citar la detección de cambios en los patrones de vegetación utilizando *las zonas de vida de Holdridge*, también ensayadas para diferentes escenarios utilizando Modelos Climáticos Generales (Monserud y Leemans, 1992).

Otra de las *nuevas* aproximaciones en la aplicación de los sistemas de clasificación es evaluar los cambios futuros sobre diferentes elementos del medio físico en el contexto de cambio climático. Entroncando con la tradición de estas clasificaciones en las que los límites de las zonas climáticas se asociaban a la vegetación, en la actualidad se utiliza de igual forma para evaluar los desplazamientos y cambios en la distribución de la vegetación o *ecoregiones*. Por citar algunos ejemplos, hay algunos enfocados en la tundra (Díaz y Eischeid, 2007) o en determinadas zonas de especial sensibilidad ecológica como el Ártico (Feng *et al.*, 2012; Wang y Overland, 2004). En estos últimos estudios se han mostrado ya cambios en la *línea de árboles* y una disminución de la superficie de la tundra debidos al calentamiento global. En el norte de Alaska y en varias localidades del norte de Eurasia esta formación está siendo sustituida por una

cubierta vegetal constituida básicamente por arbusto. Dada la gran extensión de superficie afectada y la persistencia de este tipo de cubierta vegetal los cambios pueden llegar a afectar a los forzamientos sobre la atmósfera, por lo que la evaluación de este impacto potencial es de vital importancia en los ámbitos ecológicos.

Igualmente se están llevando a cabo estudios para valorar los efectos sobre el sistema hidrológico que los cambios a nivel global están produciendo en las zonas climáticas definidas por Köppen, tanto a escala planetaria (Van Vliet *et al.*, 2013) como regional. Tal es el caso de Australia donde se aplicó el sistema de Köppen-Geiger para analizar en proyecciones futuras los cambios en la distribución de la vegetación, utilizando 17 Modelos de la Circulación General (MCG) y cinco escenarios de calentamiento global, a fin de poder evaluar las consecuencias hidrológicas (Crosbie *et al.*, 2012).

Para completar el amplio abanico de posibilidades aplicadas que este tipo de estudios está generando, mencionaremos los trabajos que utilizan diversos índices de aridez para investigar los posibles cambios en los patrones climáticos combinando éstos con la información obtenida de la clasificación climática Köppen con el fin de valorar los cambios de extensión de los territorios áridos. Como ejemplo, en el estudio llevado a cabo en el ámbito mediterráneo se utilizaron dos índices de aridez (UNEP y Budyko) con los índices de la clasificación de Köppen, para estimar los posibles efectos del cambio climático en el siglo XXI (A2 and B2 IPCC escenarios de emisión y el modelo ICTP (Gao y Giorgi, 2008). En otro estudio más reciente se utilizó la información obtenida de la clasificación climática Köppen-Geiger para investigar los posibles cambios en los patrones climáticos de los últimos 60 años, combinando sus resultados con el índice de aridez de la FAO a fin de obtener una visión general de los cambios globales que se habían producido en los regímenes climáticos, centrándose en las modificaciones de la extensión de los territorios áridos (Spinoni *et al.*, 2014).

Por último, mencionaremos otra serie de innovaciones de carácter metodológico, relacionadas de forma directa con nuestro estudio y con los procedimientos que vamos aplicar, que nos permiten constatar que nuestra aproximación coincide en sus objetivos con algunos trabajos de investigación.

A pesar de que los métodos empleados en sistemas clásicos como el de Köppen son, aparentemente, muy diferentes respecto a los procedimientos multivariantes estadísticos de clasificación, están siendo aplicados al estudio de la distribución de los tipos de clima. Por citar algunos trabajos, Tadaki utiliza este tipo de análisis *clúster* para definir zonas climáticas y comparar éstas con las que se obtendrían mediante la clasificación *subjetiva* de Köppen (Tadaki *et al.*, 2012).

En otros casos se utiliza también el método de conglomerados de *K-medias* con propósitos similares intentando construir agrupaciones homogéneas mediante

diferentes combinaciones de variables climáticas y de vegetación obtenidas a partir de imágenes de satélite (Zscheischler *et al.*, 2012).

Recientemente Zhang y Yan han realizado una clasificación objetiva de los climas mundiales utilizando datos en rejilla de la *Climatic Research Unit TS (time-series)* y mediante análisis de conglomerados, obteniendo 14 tipos de clima según Köppen-Geiger, demostrando la validez de estos métodos en este tipo de aplicaciones. Los autores han constatado que los tipos de clima identificados coinciden con sus correspondientes tipos de vegetación, de lo que se deduce que el análisis de conglomerados se puede utilizar como método de clasificación de los tipos de clima del mundo (Zhang y Yan, 2014a).

Aparecen también innovaciones muy valiosas en la aplicación de estas técnicas como el empleo de la distancia euclidiana entre los centroides de cada ecoregión, como índice cuantitativo para demostrar la magnitud de cambio entre dos ecorregiones (Saxon *et al.*, 2005).

En el noroeste de China, el estudio *Comparación de métodos de clasificación para la división en regiones de clima de húmedo/seco en el noroeste de China* (Geng *et al.*, 2014) prueba la capacidad clasificatoria de este tipo de métodos multivariantes (análisis factorial-clúster) frente a otros sistemas de clasificación (Penman-Monteith, Thornthwaite, Holdridge y el método de Sahin), con el fin de valorar su aplicabilidad y calidad. Los resultados indicaron que los regímenes climáticos globales coincidían en las cinco clasificaciones, pero que los límites de las divisiones entre húmedo y seco mostraban una mayor coherencia con las características topográficas mediante el uso de técnicas objetivas de control de datos.

Parece claro que, a pesar de que la clasificación climática de Köppen fue formulada hace más de 100 años y posteriormente modificada por sus colaboradores y sucesores, se encuentra absolutamente vigente. Su uso se ha generalizado en la enseñanza universitaria, en la investigación de muchas disciplinas y como clasificación de referencia climática en la evaluación de resultados de los modelos de simulación climáticos.

Resulta sorprendente constatar la variedad de métodos y técnicas, así como la enorme riqueza y diversidad de resultados que están logrando las *nuevas* aplicaciones que, sin duda, abren un campo de investigación climática aplicada muy importante para el futuro. No obstante, hemos echado en falta una mayor aportación geográfica, parece como si la Geografía no fuera consciente de esta *reinención* ni de las posibilidades de un tema tan clásico en climatología y en otras muchas aplicaciones geográficas. Compartimos la opinión de Capel Sáez: “incluso el cambio climático, como tema central y unificador de la investigación científica actual, no parece suscitar un debate en el seno de nuestra disciplina sobre el papel y aportación del geógrafo y el

climatólogo en los retos, cuestiones relevantes y problemas actuales” (Capel Sáez, 1981). Recordamos de nuevo las palabras del profesor Martín Vide en relación con la actual *Nueva Geografía* que debe caracterizarse por “la capacidad de aprehensión, y asunción como propios, de métodos y técnicas de especialidades y disciplinas muy diversas para responder a los retos actuales y futuros (...). Puede que convenga también ahora reflexionar sobre la importancia de la fundamentación teórica. En el caso del continuo aprendizaje técnico que exige en la actualidad la práctica de la Geografía cuantitativa detrae potencialidades a la imprescindible reflexión teórica del científico” (Martín Vide, 1994).

Tal vez las razones de la escasa contribución geográfica al tipo de estudios que evalúan los cambios espaciales en los límites de los tipos climáticos, de vegetación o hidrológicos, se deba a la novedad y diversidad de técnicas o métodos que exige la realización de este tipo de investigaciones. La utilización de modelos y escenarios no debe sustraer al geógrafo de este tipo de trabajos poniendo de manifiesto, una vez más, las recomendaciones y perspectivas acerca del devenir futuro de la geografía recogidas en diversos trabajos (Bradshaw, 1983; Das, 2014; Gregory, 1976; Keylock y Dorling, 2004; Martín Vide, 1994; Sheppard, 2001; Terjung, 1976).

La necesidad de formación permanente, la aplicación de nuevas técnicas en la docencia, el desarrollo y aplicación de teorías y métodos de vanguardia, el uso de las Tecnologías de la Información Geográfica, etc. deben conseguir situar a los profesionales de la geografía, presentes y futuros, en estas áreas de investigación. Nuestro trabajo pretende así mismo, poner de manifiesto la nueva dimensión del clima para la geografía y contribuir al avance de los estudios relacionadas con el análisis y evaluación de los patrones del clima y su distribución espacial.

### 3.3. ¿Es lo mismo clasificar que regionalizar?

Al formular esta pregunta no se trata de una diferenciación baladí pues ya en los años sesenta Grigg plantea esta cuestión y su relevancia cuando dice: “aunque los conceptos *clasificación* y *regionalización* no son procedimientos directamente análogos, presentan similitudes suficientemente importantes como para que el geógrafo se plantee estudiar los principios y bases de los métodos de clasificación con detenimiento” (Grigg, 1965).

La clasificación es un método común en todas las ramas de la ciencia que permite ordenar y obtener una generalización de los fenómenos observados en la realidad, establecer tipologías, transmitir información y plantear hipótesis inductivas; constituye un paso preliminar indispensable en cualquier disciplina, pero en la geografía los problemas de clasificación son especialmente relevantes debido al interés por la búsqueda de patrones y categorías espaciales.

En cuanto al término regionalización, tiene la suficiente importancia como para que ya en 1956 la Academia de Ciencias China constituyera el *Comité de regionalización física de China* que estableció nueve especies de regionalizaciones del territorio, correspondientes a los principales elementos del medio físico, entre los que se realiza una *Regionalización climática en China* (Shaohong *et al.*, 2003).

Sin embargo, en la revisión que hemos llevado a cabo de trabajos dedicados a divisiones climáticas de la superficie terrestre el término regionalizar no aparece hasta la década de los cincuenta. No es hasta los años sesenta, cuando hemos encontrado un artículo dedicado exclusivamente a esta temática, titulado *Aproximación multivariante aplicada a las clasificaciones y regionalizaciones climáticas* (Steiner, 1965). No es casual que los dos términos aparezcan en el título, ni tampoco que lo hagan unidos a *métodos multivariantes*, pues se encuentran en el origen mismo de su *posible* diferenciación y como base de un rico debate sobre las diferencias o similitudes de los procedimientos y resultados que conllevan.

Muchos autores escribieron sus reflexiones sobre las clasificaciones y regionalizaciones entre los años 60 y 70, en aquellos momentos de efervescencia de la nueva geografía “estas cuestiones se vivieron como una verdadera *revolución metodológica*. Esta motivación les impulsó a escribir y compartir sus propias inquietudes y conclusiones, fruto de la importante experiencia y renovación investigadora que experimentó la climatología geográfica en aquellos momentos. Perry o Gregory, por citar sólo algunos, publicaron trabajos presentando y comparando resultados aplicando diferentes técnicas, desde las más elementales, como simples gráficos o la delimitación de grupos mediante simple similitud en los coeficientes de correlación (*Single linkage analysis*), hasta la aplicación de diferentes procedimientos del Análisis de Componentes Principales” (Gregory, 1975).

Si consideramos *a priori* que regionalizar es realizar una clasificación espacial con el fin de obtener *regiones* homogéneas, entonces todas las cuestiones relacionadas con estos conceptos adquieren tanto contenido y tradición para la Geografía que acercarse a ellas resulta complicado. Dikshit advierte que “la palabra *región* tiene muchos significados y su uso en situaciones tan diversas ha llevado a tener una cierta cautela en su utilización por parte de los geógrafos profesionales. (...) La naturaleza de una *región* varía según las necesidades, objetivos y los criterios de los que utilizan el concepto” (Dikshit, 2006).

Por esta razón en nuestra investigación vamos a dar a este término un significado eminentemente práctico, próximo al recogido en un documento publicado por James y Jones en 1954 para el *Whittlesey Committee* en geografía regional donde exponen: “Cualquier segmento o porción de la superficie terrestre constituye una región si es homogénea en términos de su agrupación espacial. Su homogeneidad está determinada por unos criterios formulados con el objetivo de ordenar y obtener de

todos los fenómenos de la tierra aquellos elementos que se necesitan para conseguir claramente un agrupamiento espacialmente coherente. De esta forma, la región no se constituye como un objeto que se *autodefine* o surge de forma natural, es un concepto intelectual creado a propósito por el pensamiento, a partir de de la selección de ciertas características relevantes en algún aspecto de interés espacial o problema que se planteen” (*Op. Cit.*, p.185).

En la búsqueda de trabajos dedicados a las regionalizaciones y clasificaciones han aparecido recientemente términos con implicaciones climatológicas muy diversas lo cual nos impulsó, una vez más, a buscar el sentido de su significado y efectos en la investigación. Por citar un ejemplo, la *American Meteorological Society* establece como criterios de búsqueda relacionados con estos temas en sus revistas las siguientes palabras clave: *caracterización regional, variabilidad del régimen climático, variabilidad climática, efectos regionales, divisiones climáticas basadas en métodos objetivos*. Parece así que el significado de los conceptos *clasificación y regionalización*, tradicionalmente asociados a descripciones generales y a la identificación de tipologías climáticas, se asocia incluso con otros aspectos que completan el significado actual de estos términos: la variabilidad, la reducción y comprensión de la complejidad natural del sistema climático a escalas medias o locales y de sus patrones espacio-temporales.

Por todas estas razones que nos parecen relevantes para la climatología y la geografía, vamos a abordar a continuación algunas cuestiones que pueden esclarecer el significado científico de estos términos.

### 3.3.1. Dimensión geográfica de estos conceptos

Una vez más, tenemos que referirnos al pasado para explicar las implicaciones geográficas de los términos cuyo significado climático intentamos esclarecer. A partir de los años 40 se producen importantes avances en diversos campos de la ciencia que confluyen y se retroalimentan generando nuevos descubrimientos metodológicos y campos de aplicación. El desarrollo de los métodos estadísticos, especialmente los multivariantes, y su aplicación a la psicología, la ecología y la taxonomía propician el desarrollo de estas técnicas que también se incorporan a la Geografía, impulsando lo que se denominará la *Taxonomía regional* (Spence y Taylor, 1970). La revolución cuantitativa inicia un debate reflexivo en nuestra disciplina que indaga en la naturaleza del dato y que incorpora la localización espacial como rasgo esencial de los individuos geográficos. Comienzan, pues, a aparecer estudios sobre clasificaciones, utilizándose diversos tipos de datos geográficos y métodos numéricos tomados de otras disciplinas científicas. De esta forma se inician los primeros planteamientos y debates sobre el sentido de clasificar o regionalizar. Como apunta Johnston, “los problemas en la



naturaleza de los datos geográficos han retrasado el desarrollo de la clasificación objetiva basada en técnicas numéricas” (Johnston, 1968).

Aunque anteriormente se habían tratado estas cuestiones, fue Bunge en 1962 quien, comparando las clasificaciones habituales en la ciencia y las regionalizaciones en geografía, defiende la localización como singularidad en la aplicación de estas técnicas geográficas debido a las propiedades específicas de los elementos que se analizan. En sentido contrario se manifiesta en este debate Johnston cuando afirma que las tipologías y las regiones son lo mismo: “Los geógrafos a menudo han ideado sus propios procedimientos para la regionalización de un área, pero gran parte del reciente desarrollo de regionalización cuantitativa se basa en técnicas tomadas de otras disciplinas. A raíz de su aplicación ha surgido un debate sobre la posible naturaleza singular de las clasificaciones geográficas, evidente en el intercambio de ideas entre Grigg y Bunge a las que Taylor también contribuyó” (Johnston, 1970).

En este mismo sentido Grigg, en su brillante trabajo *La lógica de los sistemas regionales*, plantea que “se puede concluir razonablemente que la analogía entre la clasificación y la regionalización recae sobre el problema de cómo definir el *individuo geográfico*” (Grigg, 1965). De acuerdo con sus teorías hay una serie de factores que dificultan establecer un paralelismo total entre una clasificación individual y una regionalización (*Op.Cit.*, p. 476). Por esta razón comentaremos algunas de las ideas que nos han parecido relevantes por las reflexiones que suscitan.

En primer lugar, si consideramos que cada punto de la superficie terrestre es *a priori* único, parece una contradicción el propio objetivo de clasificar o regionalizar en tipologías basadas en esta característica. Utilizar las propiedades de posición como elemento diferenciador no parece por tanto lógico, aunque tampoco tiene sentido establecer una clasificación geográfica que no tenga en cuenta dicha característica espacial. Por otro lado, en los sistemas de clasificación generales los individuos son únicos y aislados, pero cuando hablamos de la superficie terrestre esto no sucede así, ya que no encontramos un mosaico de entidades sino un continuo. Incluso suponiendo que pudiéramos definir unidades geográficas a partir de los métodos de clasificación *clásicos*, éstos no tienen en cuenta la posición de los elementos, e ignoran la localización al agrupar a los individuos en clases. Por el contrario cuando regionalizamos, si se pretende agrupar los individuos en regiones, se supone que éstas son similares en los criterios que las configuran, y continuas en el espacio.

Apoyándonos en las reflexiones de Grigg comprobamos que el debate se centra en las diferencias que aparecen al aplicar los sistemas generales de clasificación en geografía debido, fundamentalmente, a que la localización se considera una característica *analizable* de los elementos y exige una continuidad espacial.

Los avances metodológicos que se producen en las técnicas de clasificación posibilitan que estas cuestiones se planteen en la geografía, y por tanto si las regiones se corresponden con clases espaciales, es decir, con los grupos que obtenemos cuando analizamos elementos espaciales. En general los objetos se agrupan sobre la base de cierta similitud sin necesidad de cercanía entre ellos, de hecho, son clasificados independientemente de la ubicación. No obstante, si asumimos que las regiones son clases espaciales, esta propiedad *debería* ser utilizada como característica diferenciadora entre los individuos del grupo en clases o regiones. A su vez, una región debe estar constituida por individuos contiguos, de lo contrario no se establecería. Esta suposición no es necesaria en la taxonomía general y plantea la cuestión de por qué individuos próximos espacialmente deben ser similares.

Por otro lado, si no se impone esta condición de continuidad, deberíamos asumir, tal como argumenta Grigg que “en el estudio de los fenómenos del mundo físico existe una suposición implícita metafísica que plantea que existe un orden en el mundo. Éste asume que la distribución de los fenómenos se puede explicar de manera lógica y no son meramente producto del azar. Tal suposición implica, hasta cierto punto, que debemos conocer las causas de las diferencias antes de emprender una clasificación aunque, en el caso de elementos como los tipos de vegetación, de suelo o los climas, esto no es necesario y se puede hacer esta suposición directamente a la hora de realizar clasificaciones”(Op. Cit.). Por consiguiente este autor plantea la autocorrelación espacial como principio que sustenta estos procedimientos en el medio físico que evita tener que considerar la posición.

Vemos así que la clave del debate consiste en valorar si regionalizar es llevar a cabo una *clasificación geográfica*, lo que implicaría procedimientos exclusivos, no incluidos en las técnicas generales de clasificación, y considerar por consiguiente la localización como una propiedad específica de los elementos geográficos. La cuestión reside en si la ubicación debe ser incluida en los criterios de similitud cuando los elementos espaciales están siendo agrupados para formar regiones, siendo entonces una de las variables discriminantes principales o, por el contrario, sería excluida del análisis. Si se adopta esta última opción, entonces la localización se considera irrelevante en el proceso de agrupación y, por tanto, las técnicas introducidas por la psicología, la botánica y otras ciencias, se pueden emplear directamente sin tener que adaptarlas para su utilización en geografía. La aceptación de la primera opción, por el contrario, requeriría el desarrollo de nuevos métodos para cumplir con los requisitos geográficos, especialmente el de que los elementos clasificados fueran contiguos, y obtener así coherencia espacial en las clases resultantes. Por esta razón se incorporan entonces las denominadas Unidades Operacionales Taxonómicas (*Operational Taxonomic Unit (O.T.U.s)*) consistentes en una matriz espacial que se añade a los algoritmos de clasificación cuando la localización se considera la variable dominante, y cuyo sentido es incorporar una restricción de contigüidad en el método de agrupación que se utilice.

Muchos ejemplos de su aplicación se encuentran en los intentos de “regionalización económica” como los trabajos de Berry donde, como citan Spence y Taylor, la restricción de continuidad espacial de las clases conduce a llevar a cabo una *regionalización* y sólo así se obtendrían *tipos regionales* al clasificar los objetos (Spence y Taylor, 1970).

Grigg aborda también la cuestión y plantea que “el problema de la definición del individuo surge de forma más aguda en las clasificaciones de los elementos en geografía física, como el clima, la cubierta vegetal, los tipos de suelo, y accidentes geográficos. Sin embargo, la discusión sobre la naturaleza de los elementos en este tipo de estudios ha recibido menos atención por parte de los geógrafos de lo que quizá hubiera merecido. Hay que tener en cuenta que este problema de precisión al definir el individuo no es en modo alguno de la geografía, surge en cualquier ámbito donde el objeto de estudio es continuo o tiene una expresión espacial” (*Op. Cit.*, p. 477).

Resulta imprescindible la lectura de estos trabajos para dimensionar la trascendencia de aquel intenso debate y toda la producción geográfica que originó. Naturalmente, no se llega a un consenso e incluso aparecen fuertes críticas como la de Johnston cuando dice: “la regionalización con las limitaciones de contigüidad *sobre-simplifica* y dificulta la comprobación de hipótesis. No hay base en la teoría geográfica, incluso en la definición de regiones funcionales, que justifique la necesidad de este requisito de adyacencia” (Johnston, 1970). Debido al tipo de fenómenos que se analizan, en los que la autocorrelación espacial no tiene por qué ser una característica intrínseca de los elementos, estas consideraciones tienen más sentido para la geografía humana o el análisis geográfico regional que para la geografía física.

En el caso de la climatología, Balling se pronuncia en el mismo sentido refiriéndose a las clasificaciones climáticas: “Si un investigador construye tipos climáticos generales no se requiere la matriz de contigüidad. Los tipos climáticos se definen exclusivamente en un espacio climático y los resultados pueden no estar asociados directamente con regiones contiguas en la superficie de la tierra” (Balling, 1984). De hecho, esta cuestión no se plantea en otras especialidades afines que también estudian elementos distribuidos en el espacio como la ecología o la edafología. Concluye, una vez más, Grigg que “a pesar de que la ubicación puede ser una propiedad, no puede ser una característica diferenciadora puesto que para serlo debería ser poseída en algún grado o intensidad por todos los miembros del universo” (Grigg, 1965).

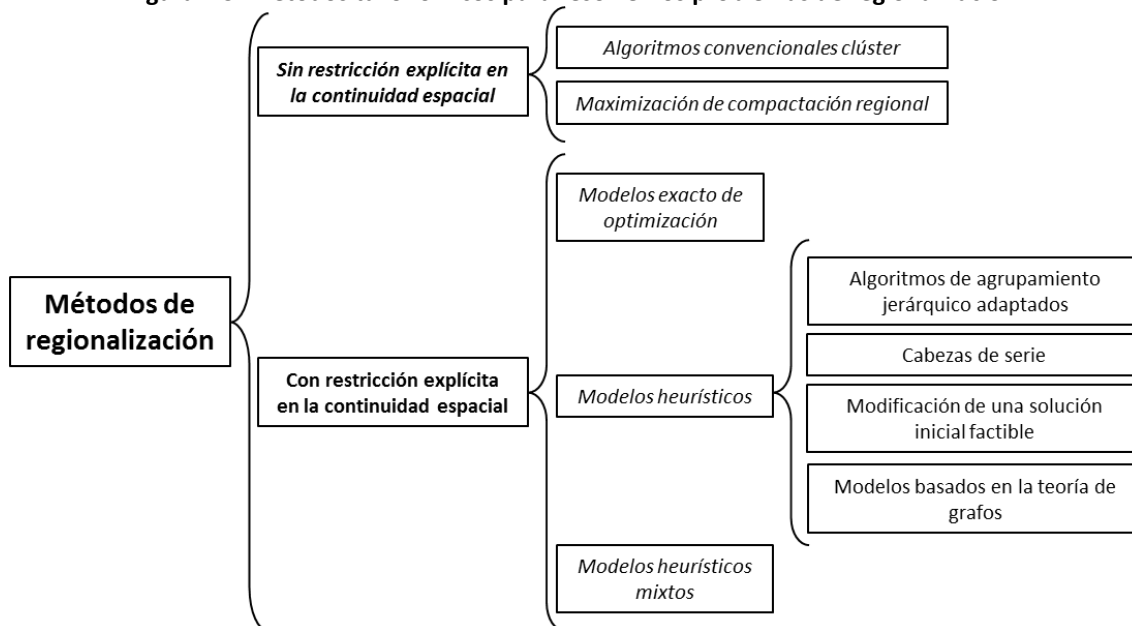
Por lo tanto, para este autor, que reflexiona acerca de la geografía en su conjunto, el proceso de clasificación se mantendría en un nivel más alto de abstracción que los que los geógrafos han distinguido tradicionalmente, diferenciando entre los *sistemas regionales generales* (o genéricos) y los *específicos*. Regiones genéricas son “aquellas que se organizan en tipologías, siendo cada tipo un carácter genérico, donde todos los representantes de un determinado tipo tienen parecido entre sí en algunos aspectos

fundamentales, de acuerdo con algún criterio, como por ejemplo, el clima, el carácter de la vegetación o el uso humano seleccionados. Estas regiones pueden aparecer en diferentes partes del mundo, pero la ubicación no es una propiedad usada en su clasificación. Por el contrario *una región específica* está determinada no sólo por las condiciones intrínsecas de la zona en cuestión, sino también por su ubicación y orientación geográfica. Si aceptamos que los dos procedimientos son similares, y hay que reconocer que el problema de la definición del individuo en geografía es difícil, se pueden aplicar sin problemas los principios generales de la clasificación a la construcción de sistemas regionales y, en particular, a los sistemas regionales generales” (*Op. Cit.*).

La restricción de continuidad no tiene para la climatología el mismo valor que para el resto de la geografía. Balling explica por qué no es necesaria argumentando que “si un investigador construye tipos climáticos generales no se requiere la matriz de contigüidad. Los tipos climáticos se definen exclusivamente en un espacio climático y los resultados pueden no estar asociados directamente con regiones contiguas en la superficie de la tierra” (Balling, 1984). Por lo tanto, para la climatología la diferencia entre los términos clasificación y regionalización, basada en la exigencia de continuidad espacial, tal como fue planteada en el debate de los años 60, no parece tener mucho sentido. Serán otras cuestiones las que nos irán mostrando diferencias entre estos términos en la climatología y que trataremos más adelante.

Finalmente podemos comprobar que la cuestión de la continuidad espacial sigue vigente tanto en la geografía como en otras disciplinas tal y como muestran algunos trabajos que hemos seleccionado, por ejemplo, el estudio de regionalización forestal de Estados Unidos mediante un análisis de conglomerados específico denominado REDCAP, incorpora directamente, a diferencia de las regionalizaciones por agrupamiento habituales, una restricción de continuidad espacial cuyo resultado son regiones contiguas que optimizan la homogeneidad de sus datos (Kupfer *et al.*, 2012). En geografía encontramos trabajos regionales recientes en los que se plantean las diferentes aproximaciones metodológicas al tema de la continuidad espacial, como puede apreciarse en la siguiente figura (Figura 1.3), tomada del trabajo de Duque y colaboradores. En ella se esquematiza cómo plantear el problema de la regionalización resumiendo, en gran medida, muchas de las cuestiones planteadas en los años 60 y 70 lo que demuestra que el debate sigue aún vigente (Duque *et al.*, 2007).

Figura 1.3. Métodos taxonómicos para resolver los problemas de regionalización.



Fuente: Duque, et ál. 2007. Elaboración propia.

Respecto a la cuestión inicial planteada de si es lo mismo clasificar que regionalizar, pensamos que es necesario continuar indagando sobre otros aspectos específicamente climatológicos antes de pronunciarnos sobre el planteamiento que adoptaremos en nuestra investigación. No obstante, parece evidente que la diferencia no reside en la incorporación en el proceso de clasificación de la localización espacial de los elementos como una “propiedad más” ni la exigencia de una continuidad espacial. A pesar de ello, es indudable que en nuestro estudio el término regionalización lleva implícita la consideración espacial pero desde la existencia de una autocorrelación existente en los procesos físicos. La identificación de áreas espaciales homogéneas la adoptaremos desde una perspectiva simplificada y aplicable a la Climatología. Nuestra regionalización apela en sus planteamientos a sus objetivos últimos, a la utilidad final de este trabajo así como a las exigencias *formales* que deben cumplir los resultados tras aplicar un sistema de clasificación objetivo.

### 3.3.2. Fundamentos básicos de las clasificaciones climáticas

Los procedimientos básicos de las clasificaciones utilizadas en todas las ramas de la ciencia son igualmente aplicables en climatología. Aunque el término clasificar puede entenderse de diversas maneras, una buena definición sería la establecida por Oliver como la “agrupación sistemática de objetos o eventos en clases sobre la base de las propiedades o relaciones que tienen en común” (Oliver, 2006a). Pero clasificar no sólo consiste en establecer grupos a partir de un conjunto de elementos, sino que requiere otras características complementarias para que su realización sea correcta y útil.

A pesar de los numerosos estudios dedicados a las clasificaciones son escasos los que analizan en profundidad las bases científicas de los procedimientos aplicables en el campo de la climatología. El trabajo de Balling (1984) citado anteriormente, *Clasificación en climatología*, es uno de ellos y en él se incluye una serie de consideraciones sobre las clasificaciones climáticas y sus métodos que también han sido recogidos por otros autores como Oliver (Oliver, 2006a). La insistencia en la necesidad de utilizar procedimientos objetivos de clasificación, nos ayudará a precisar las posibles diferencias entre los términos regionalizar y clasificar.

El objetivo principal de la mayoría de los esquemas de clasificación es conseguir estructurar, ordenar y simplificar para su comprensión un sistema tan complejo como el climático (Harvey, 1969). Los procedimientos de síntesis posibilitan manejar grandes volúmenes de información que puede ser estructurada en tipologías básicas y también permiten identificar estructuras y modos de organización climática. De esta forma se pueden plantear hipótesis inductivas sobre los procesos que las generan y el orden observado (Sokal y Sneath, 1963), estas hipótesis pueden ser comprobadas a fin de establecer leyes y generalizaciones empíricas, mejorando los modelos existentes y planteando nuevas teorías (Johnston, 1970). En todo este proceso la taxonomía numérica aporta objetividad y permite la repetición de protocolos de clasificación, liberando el proceso de posibles sesgos introducidos por el investigador (Sokal y Sneath, 1963). En relación con los procedimientos habituales en climatología Balling comenta que “son de gran utilidad combinados con el uso de los métodos taxonómicos numéricos” (Balling, 1984).

Otro de los objetivos de las clasificaciones es identificar los límites espaciales de las tipologías climáticas. Una vez más, este autor muestra que los métodos de clasificación numérica permiten asegurar que los límites se localizan donde se producen los gradientes climáticos más acusados. La trascendencia de identificar las fronteras espaciales de las zonas climáticas va más allá de su *simple trazado*, y “resulta crucial para entender los procesos físicos y dinámicos que rigen los fenómenos climáticos que las configuran” (Gregory, 1975) permitiendo identificar su escala de influencia.

Por otro lado, las clasificaciones climáticas tienen una utilidad práctica además de teórica, por lo que pueden ser diseñadas para fines generales o para problemas específicos, algo que en una investigación se debe tener en cuenta al plantear los objetivos iniciales, y estos objetivos deben ser adecuados a los procedimientos de clasificación que se apliquen. Si en una investigación se decide utilizar métodos taxonómicos numéricos para resolver una determinada problemática, debe considerarse cuidadosamente el alcance y consecuencias del procedimiento seleccionado si la finalidad es conseguir un sistema de clasificación climática eficiente.

Hay que señalar que Steiner advierte en su trabajo sobre las regionalizaciones y clasificaciones en climatología que a la hora de aplicar un determinado sistema de

clasificación se pueden presentar una serie de problemas básicos (Steiner, 1965). Muchos de ellos los abordaremos en el siguiente capítulo metodológico ya que estas cuestiones suelen ser complejas y condicionan algunas decisiones en las diferentes etapas del proceso. A continuación planteamos algunos interrogantes:

- ¿Qué variables deben seleccionarse para obtener tipologías climáticas y cómo combinarlas? El clima es un fenómeno muy complejo y sólo se puede estudiar, en una primera fase, a través de la síntesis separada de sus elementos medidos independientemente. Es un problema similar al que se plantea, aunque de forma menos compleja, cuando se intentan definir índices climáticos en el proceso de clasificación.
- ¿Cómo medir la similitud entre estaciones meteorológicas? El clima en un lugar se mide a través de sus variables como atributos de los elementos climáticos que son siempre únicos, por lo que las estaciones climáticas se agruparían en función de estas características y no de su identidad como localización espacial.
- ¿Cómo resolver el problema de las fronteras climáticas? Hemos visto que éste es uno de los principales objetivos que nos planteamos, pero definir los criterios, umbrales y procedimientos, plantea problemas metodológicos complejos que han sido poco abordados. A nivel mundial pueden existir soluciones más o menos sencillas, pero en las escalas medias y de detalle las dificultades aumentan. Además, antes el trazado de los límites era hasta cierto punto manual, pero hoy en día *las líneas* se encuentran georeferenciadas, y hay que precisar sus coordenadas de posición, por lo que los procedimientos de delimitación deben ser más exactos y exigentes.
- ¿Cómo identificar la influencia y escala de los factores explicativos de las tipologías climáticas? Las observaciones climáticas realizadas en un lugar son el resultado no sólo de los climas zonales, sino también de los regionales y locales. Separar las escalas de influencia de los diferentes factores y sus tiempos de persistencia, continúa siendo un reto difícil para la climatología.
- ¿Qué tipo de clasificación climática elegir? Tradicionalmente han existido dos grandes aproximaciones, las clasificaciones *estáticas*, basadas en promedios de series largas de datos, y las *dinámicas*, basadas en el estudio y dinámica de las masas de aire. Sería deseable unir las dos aproximaciones, habitualmente separadas; y en este sentido ya hay estudios que han intentado lograr esta síntesis.

De este breve repaso se desprende que delimitar ámbitos climáticos no es tarea fácil y que antes de aplicar una determinada metodología hay que hacer una reflexión previa

para fundamentar su elección y de esta forma obtener resultados fiables y útiles. No obstante estas consideraciones se plantean en cualquier procedimiento científico que pretenda delimitar áreas homogéneas desde el punto de vista climático. Por esta razón vamos a tratar a continuación aspectos específicos a fin de delimitar claramente las diferencias entre clasificar y regionalizar.

### **Singularidad de los *sistemas* de clasificación**

Las consideraciones descritas por Balling y Steiner suponen afrontar situaciones difíciles en este tipo de estudios climatológicos. A ellas vamos a sumar algunas condiciones que se deben cumplir al realizar una clasificación climática y que fueron planteadas por Contreras Arias ya en 1942. Sus reflexiones nos han resultado clarificadoras a la hora de diferenciar metodológicamente los términos clasificar y regionalizar, pues el autor presenta una perspectiva muy completa y aplicada, quizás por su experiencia de trabajo en el Bureau de Geografía, Meteorología e Hidrología del Departamento de Agricultura de México. En su artículo *La clasificación de los climas* (Contreras Arias, 1942), advierte que abordar este tema plantea “cuestiones muy complejas” que pueden explicar por qué en la actualidad no se proponen nuevos sistemas, o entender por qué Köppen, Martonne y Thornthwaite son prácticamente los únicos sistemas de clasificación que han recibido un reconocimiento universal, y siguen siendo los únicos utilizados en trabajos generales y en descripciones climáticas regionales. De su lectura deducimos también por qué estos sistemas son adoptados en disciplinas diferentes como la geografía, la ecología o la economía, entre otras, e igualmente puede ayudarnos a comprender su vigencia a lo largo de tantas décadas. Pasamos a describir estas características de las clasificaciones expuestas por Contreras Arias:

#### **a) Clasificar supone *establecer un sistema* de organización.**

Clasificar no sólo implica buscar un criterio de diferenciación entre dos o más objetos o fenómenos para agruparlos en clases, sino que también supone buscar posteriormente que el conjunto de grupos establecidos se coordinen en un esquema que muestre su origen o relación. Clasificar es llegar a establecer un sistema taxonómico en el que deben existir unos principios o leyes que permitan organizar a los individuos en tipologías e incluso en una jerarquía. La tarea es compleja y requiere una serie de características que deben presentar este tipo de estudios. En primer lugar, hay que disponer de un número de tipologías potenciales que posibilite establecer unos criterios y de un número suficientemente diverso de casos que permita establecer unas normas de organización.



**b) Clasificar supone abordar *escalas globales*.**

Este hecho nos conduce directamente a otro: la escala de las clasificaciones, ya que para disponer de esta cantidad y diversidad de información necesitamos abordar ámbitos espaciales extensos. Difícilmente podría plantearse un sistema *nuevo* de clasificación climática para ámbitos espacialmente reducidos, a pesar de que existen lugares en el planeta con una diversidad tal que podría ser suficiente para abordar un trabajo de esta naturaleza.

**c) Las clasificaciones tienen *como fin ser aplicadas*.**

La mayor parte de los sistemas de clasificación climática tradicionales que se han realizado han ido dirigidos, al menos en teoría, a explotar la relación que existe entre la distribución de diferentes elementos del clima y otros fenómenos. En este sentido Contreras Arias no coincide con Steiner al afirmar que “un sistema de clasificación que se limite estrictamente al campo de la climatología pura, es decir, excluyendo el establecimiento de tipos climáticos que relacionen el clima y sus efectos sobre el suelo o los ecosistemas, sería absolutamente artificial y sin valor, ya que respondería sólo a una serie arbitraria de datos físicos. En realidad no ha habido hasta ahora ningún sistema de clasificación de este tipo. (...) Una simple descripción de un clima basada en datos meteorológicos no puede llevar a conclusiones con respecto a sus potencialidades para la agricultura, la silvicultura, los asentamientos, etc. Los tipos climáticos pueden establecerse basados en un elemento climático que se considera más importante o en relación a los efectos que el clima tiene sobre las plantas, los animales, o el suelo. Sobre esta base puede hacerse una distinción entre climatología *pura* y climatología *aplicada*” (Contreras Arias, 1942).

El planteamiento del autor viene determinado por su propia procedencia profesional y por la fecha de realización de este trabajo, en 1942, ya que posteriormente se han llevado a cabo clasificaciones de otros tipos. Sin embargo, la vigencia de las clasificaciones climáticas establecidas sigue demostrando la sólida base de sus propuestas. No obstante, el propio autor advierte que esta aproximación *plantea cuestiones muy complejas*, ya mencionadas, como el problema de determinar los efectos directos del clima sobre los elementos del medio y la evaluación de los tiempos y desfases de respuesta entre ellos.

**d) Las clasificaciones deben *permitir la comparación ente climas diferentes*.**

Desde el punto de vista climatológico un sistema de clasificación debe permitir realizar comparaciones entre los climas de diferentes regiones entre sí por medio de una

escala fija de valores numéricos, lo que permite llevar a cabo el estudio directo del clima sobre los elementos del medio permitiendo, además, mejorar y perfeccionar los sistemas ya sea cuantitativamente o mediante un incremento en el número de grupos o tipos reconocidos. Tal es el caso de la clasificación de Thornthwaite que en dos escalas progresivas de valores incorpora las condiciones térmicas e higrométricas asociadas a las condiciones favorables para la vida.

**e) La extensión de los tipos de climas debe adecuarse a sus factores explicativos.**

Al igual que el concepto de *clima* se relaciona en relación al tiempo con el concepto de persistencia, en relación al espacio alude a la idea de una zona delimitada. Cuando consideramos una tipología climática la asociamos a un área específica más o menos extensa y a una combinación definida de factores que la determinan. Se plantea entonces el problema del grado de precisión necesario para identificar un tipo de clima que represente una región geográfica, conforme a los factores climatológicos característicos de la misma (Contreras Arias, 1942) (*Op Cit*). El problema es aún más complejo ya que dentro de las áreas consideradas unidades geográficas asociadas a una tipología climática, no existe la uniformidad que se presupone, dado que se pueden encontrar diferencias topográficas o tener en cuenta otros efectos como la orientación, etc. que causan desviaciones respecto al tipo climático al que pertenece la región. Es decir, resulta verdaderamente complejo establecer una correspondencia entre las tipologías climáticas, los factores generales que las configuran y los matices relevantes a escalas locales. Como veremos en el apartado siguiente una de los aspectos más relevantes de las clasificaciones climáticas es la escala espacial a que se plantean.

A partir de estas consideraciones parece claro que establecer una clasificación en climatología exige precisión terminológica ya que, además de las repercusiones metodológicas, los resultados y aplicaciones finales son muy diferentes. No podemos unificar criterios si pretendemos establecer un sistema de clasificación climática para definir tipos de clima, de regiones según su aridez, lo que implicaría un sistema de clases organizado según una escala, umbrales de diferenciación y una relación explicativa entre ellos. Sin embargo, la clasificación se puede utilizar como método para conseguir los objetivos y funciones enunciados por Balling y recogidos por Oliver (Oliver, 2006a): una estructura, un orden y una simplificación del sistema complejo analizado, una síntesis intelectual que pueda ayudarnos a identificar límites espaciales que se utilicen en aplicaciones prácticas y teóricas. En este sentido hablaríamos de regionalizaciones climáticas ya que las primeras exigencias mencionadas no son requeridas; aplicaríamos las mismas bases que *todas* las clasificaciones, por lo que podrían ser tratadas en consecuencia. En estos casos la escala de estudio también

variaría siendo la escala global la más adecuada para las clasificaciones climáticas, y las escalas medias y locales más apropiadas para las regionalizaciones. Resumiremos estas ideas, tras analizar otras cuestiones que van presentándose a medida que continuamos profundizando en la dimensión y precisión climática de estos términos.

### 3.3.3. Una mirada desde otras disciplinas

Después de realizar este repaso histórico y acercarnos a aspectos básicos referidos principalmente a las clasificaciones, continuamos ahondando y buscando otras definiciones ya que los términos clasificar y regionalizar no son exclusivos de la climatología. La diferencia entre ambos términos, implica cuestiones trascendentes, así pues nos planteamos cómo otras disciplinas los utilizan y consideran. Al ir profundizando da la impresión de que la realización de este tipo de estudios de regionalización se alimenta más de otras disciplinas afines que de la propia Geografía, siendo *una simple exploración para poder aplicar unas técnicas* (Ahmed, 1997).

Puesto que clasificar es un término más general, comenzaremos acercándonos a su significación desde algunas definiciones. Capel nos dice que “Clasificar significa agrupar los individuos en clases sobre la base de las propiedades o relaciones que poseen en común y, debido a la multitud de características que podrían ser consideradas en un objeto cualquiera, es evidente que **no puede haber una sola clasificación** posible, sino numerosas ordenaciones, según el objetivo de la clasificación y la característica diferenciadora que en relación con este se seleccione” (Capel Sáez, 1981).

El propósito fundamental de la clasificación consiste en establecer un orden en los objetos estudiados con el fin de nombrarlos, conseguir transmitir información sobre ellos y llegar a realizar generalizaciones inductivas. La clasificación es un paso preliminar necesario en la mayoría de las ciencias pero que no debe convertirse en un fin en sí mismo ya que un primer objetivo de la clasificación es alcanzar generalizaciones inductivas sobre los objetos estudiados, y no sólo organizar los objetos en determinadas clases. Se suele decir que la situación de las clasificaciones da la medida de la madurez de una disciplina (Grigg, 1965), de ahí que haya sido utilizada ampliamente por científicos y gestores, ya que permite caracterizar y ordenar una vasta información sobre la variabilidad espacial y temporal de entidades complejas, agrupándolas o subdividiéndolas en categorías o clases más o menos homogéneas para una serie de propiedades o atributos (Naiman *et al.*, 1992).

En ocasiones existe una cierta confusión al pensar que esta búsqueda pretende encontrar *clasificaciones naturales*. Parece evidente que la taxonomía y la lógica moderna admiten que éstas no existen en el sentido de que no puede haber una y sólo una clasificación que sirva a todos los efectos. Los geógrafos son conscientes de esta controversia en la historia de las ideas sobre las regiones a través de su historia. Por

esta razón parece más prudente seguir la sugerencia de Gilmour y Walters en su estudio sobre *Filosofía y clasificación* (1964) y usar en su lugar clasificaciones *naturales* y *artificiales*, hablar de clasificaciones de *uso general* y de *uso específico* (Gilmour y Walters, 1964). Sin embargo, incluso entre aquellos que reconocen que los sistemas regionales no se corresponden con una clasificación de entidades que existen en la naturaleza, todavía hay tendencia a olvidar que cualquier clasificación o sistema regional no es más que una forma de ver el mundo, y no debe convertirse, como advierte Grigg, en un fin en sí mismo.

El concepto de clasificación puede ser aplicado en cualquier campo o disciplina científica, no obstante, las singularidades que desde la geografía y la climatología geográficas se plantean en relación con las cuestiones espaciales, no quedan recogidas en esta aproximación por lo que parece lógico buscar otras acepciones más cercanas a nuestro campo de estudio.

Entre los diversos métodos que suelen aplicarse para clasificar los componentes del clima mundial, el más sencillo es el que utiliza un sólo elemento en el sistema de clasificación. En realidad, cualquier mapa de distribución de una variable climática es, por definición, un esquema de clasificación. La larga historia de las clasificaciones climáticas tiene sus raíces en la representación ordenada de una única variable climática. Cuando se trata de clasificaciones climáticas globales éstas delimitan zonas de similar comportamiento climático y reflejan características medias espaciales del clima basadas en variables climáticas específicas (Zhang y Yan, 2014a).

Hay que añadir que no encontramos un consenso en la utilización de un término en cuanto a los planteamientos y exigencias básicas que mencionábamos en el apartado anterior. Aparentemente establecer una clasificación climática se reduce a organizar y delimitar, de forma aproximada, ámbitos espaciales, sin entrar en mayores complicaciones. En este sentido la acepción más extendida permanecería en un nivel preliminar e incluso impreciso de la aplicación del método científico, sin llegar a superar fases posteriores que persigan establecer hipótesis, modelos y verificación de los mismos.

En cuanto al concepto de regionalización parece hacer referencia al proceso de definir y delimitar regiones pero dicho así, los objetivos y métodos pueden ser tan diversos que necesitamos encontrar mayor precisión o al menos algún tipo de definición práctica que nos permita establecer un vínculo con nuestro estudio. Recordemos que el concepto de región que mencionamos al principio de este epígrafe fue elegido porque se adecua a nuestros objetivos de investigación y evita abordar un tema de gran transcendencia en la historia de la geografía. De nuevo Capel Sáez es quien nos ofrece una definición tomada de un documento publicado por James y Jones en 1954, el *Whittlesey Committee* en geografía regional y dice: "Cualquier segmento o porción de la superficie terrestre constituye una región si es homogénea en términos de su

agrupación espacial. Su homogeneidad está determinada por unos criterios formulados con el objetivo de ordenar y obtener de todos los fenómenos de la tierra aquellos elementos que se necesitan para conseguir claramente un agrupamiento espacialmente coherente. De esta forma, la región no se constituye como un objeto que se *autodefine* o surge de forma natural, es un concepto intelectual creado a propósito por el pensamiento, a partir de la selección de ciertas características relevantes en algún aspecto de interés espacial o problema que se plantee” (Capel Sáez, 1981, p.185).

De esta definición destacamos dos aspectos importantes que encontraremos repetidamente en muchos estudios sobre regionalizaciones, abordados desde diversas disciplinas. En primer lugar, buscamos definir regiones espacialmente homogéneas en su agrupación según unos criterios y, en segundo lugar, estas regiones son una construcción intelectual. En el mismo sentido define Johnston la región apoyándose en las conclusiones de Grigg y equiparando el término región a los tipos, *cluster* o clases que resultan y se definen como unidades espaciales (Johnston, 1970). No obstante no parece excesivamente clara la distinción entre región y tipo o, al menos, resulta excesivamente general en estos trabajos. Por lo tanto, las regionalizaciones no identificarían ámbitos naturales en un sentido físico sino que constituirían clases definidas según las *condiciones de experimentación*.

Si nos aproximamos desde otras disciplinas, constatamos que el término regionalización está mucho más extendido, e incluso más consolidado que en la tradición geográfica, como es el caso de dos ciencias hermanas y afines, la ecología y la hidrología, ambas con una fuerte base espacial, en las que el término regionalización es ampliamente utilizado, especialmente por la segunda de ellas.

La importancia de los procesos de clasificación ha sido reconocida desde la ecología, así González Bernáldez en 1982 comenta que “la clasificación de ecosistemas constituye una de las etapas básicas e iniciales en el proceso de evaluación y análisis de los recursos que éstos representan”. Supone, junto con el inventario, una de las fases iniciales de cualquier programa de investigación aplicado a la gestión del medio natural. Se trata, en última instancia, de un instrumento sumamente eficaz para alcanzar un sólido conocimiento de la variedad y situación de los diferentes ecosistemas acuáticos y terrestres que sostienen el cuerpo de recursos naturales y potenciales de un territorio; es decir, cuántos y qué tipos de ecosistemas componen ese medio natural” (Montes *et al.*, 1998).

En ecología las regionalizaciones, entendidas como clasificación de ecosistemas a diferentes escalas espaciales se han denominado de forma diferentes y tienen una larga tradición. Los antecedentes históricos son las denominadas *prospecciones o reconocimientos integrados* (*Op.Cit.*), considerados posteriormente como ordenación sistemática de unidades funcionales o entidades sistémicas de interacciones biofísicas,

lo que implica una regionalización integrada y jerárquica del territorio no utilizando únicamente elementos temáticos (geomorfología, suelos, vegetación, etc.), a fin de producir cartografías ambientales.

En **ecología**, una de las definiciones de regionalización (Gerstengarbe *et al.*, 1999) nos muestra que las regionalizaciones son modelos construidos de forma cuantitativa o cualitativa destinados a delimitar *ecoregiones*. Los cuantitativos son más explícitos, repetibles, transferibles y defendibles que los modelos subjetivos basados en la experiencia, por lo que son más objetivos que los cualitativos; de esta forma los expertos pueden definir racionalmente los límites entre ecoregiones a pesar de que resulta difícil encontrar un método para ubicarlas con precisión. Por el contrario, las técnicas de ecoregionalización cualitativas no son absolutamente objetivas ya que se basan en los criterios de expertos en temas ambientales que seleccionan las capas de información y la interpretación de las ecoregiones resultantes.

En otro estudio sobre *Ecoregiones y ecoregionalización desde una perspectiva geográfica y ecológica* definen las ecoregiones como “zonas que presentan una relativa homogeneidad en los ecosistemas y constituyen unidades de análisis que son cada vez más importantes en la evaluación y la gestión ambiental” (Loveland y Merchant, 2004).

En **hidrología** encontramos un elevado número de artículos en los que se trata explícitamente de las técnicas y procedimientos de regionalización con una gran precisión en sus objetivos. La regionalización hidrológica aplica métodos adecuados para el análisis de la distribución espacial de las variaciones de sus fenómenos. Regionalizar significa, pues, realizar una clasificación espacial, es decir, asociar a cada punto del espacio un valor hidrológicamente significativo. Con el uso de métodos estadísticos se pueden definir regiones hidrológicas que se corresponden con las clases definidas espacialmente.

La importancia de estas técnicas en hidrología es resumida por Lima y Lall: “La regionalización o análisis regional de las variables hidro-climatológicas, como el caudal, las precipitaciones, la evaporación y sus estadísticas asociadas (por ejemplo, medias, desviación estándar, cuantiles, etc.), ha sido un área muy productiva de investigación durante los últimos 40 años. La comprensión de la variabilidad espacial de las medidas estadísticas es importante para las series temporales hidro-climatológicas y en la gestión de los recursos hídricos.(...) La regionalización se puede emplear también para mejorar las estimaciones de los parámetros y para extender series temporales en aquellos casos donde existan series cortas de registros de la variable deseada” (Lima y Lall, 2010). Por citar un ejemplo, en un estudio realizado en Suecia en los ochenta se analizaron datos de escorrentía sobre todos los ríos suecos con el fin de analizar los patrones de variación y delimitar las regiones con un comportamiento hidrológico

uniforme. Las técnicas empleadas exigen homogeneidad, pero dentro de esas regiones se pueden describir las tendencias y variaciones (Gottschalk, 1985). Por citar un trabajo reciente, la tesis dedicada al estudio de de las precipitaciones extremas en cuencas de Italia iba dirigida a estimar variables hidrológicas, y tenía como finalidad contribuir al diseño de la gestión hidrológica; con ella se emplean diversas técnicas para ampliar la información hidrológica en cuencas no aforadas, y se lleva a cabo una regionalización tanto del régimen de esorrentía como de las curvas de duración de flujo, (CDF) de esta forma se crean mapas de peligrosidad de las precipitaciones (Uzair Qamar, 2015).

Hemos tenido ocasión de comprobar que la mayor parte de los estudios de regionalización hidrológica son utilizados para obtener información a partir de otros puntos conocidos en lugares donde no existen aforos. Se acepta que las características de las cuencas fisiográficas determinan algunos de los rasgos del régimen hidrológico y que, por lo tanto, éstas pueden utilizarse para delimitar regiones y clasificar lugares similares, permitiendo la estimación en lugares en los que no existen estaciones de medición. Un caso frecuente es regionalizar las precipitaciones extremas para estimar algunas variables hidrológicas como el régimen de esorrentía, y las curvas de duración de flujo que se aplican (CDF) para realizar mapas de peligrosidad y también para diseñar en la gestión hidrológica.

El objetivo final es obtener un modelo del comportamiento de las variables o índices hidrológicos regionalizados que permitan la predicción en la gestión de las cuencas. Encontramos también en este tipo de estudios, la advertencia de que este trazado de los límites es muy subjetivo y depende de las medidas de similitud y de las técnicas de clasificación empleadas (Ilorme y Griffis, 2013; Isik y Singh, 2008).

Así pues, en hidrología los procedimientos de regionalización son reconocidos y aceptados como métodos de análisis bien definidos a pesar de su diversidad, constituyendo un ámbito de investigación muy fructífero e innovador. En esta disciplina regionalizar está claramente asociado al estudio de la variabilidad, a la clasificación y modelización del comportamiento espacial en unidades homogéneas con fines predictivos y aplicables a la gestión. Comprobamos cómo muchos de los fundamentos básicos que diversos autores planteaban para las clasificaciones climáticas, en un sentido general, se asumen desde la perspectiva hidrológica y, sin embargo, no se denominan *clasificaciones hidrológicas*, sino que son consideradas unánimemente como regionalizaciones.

¿Qué definiciones encontramos desde la climatología? En investigaciones recientes (Haddad *et al.*, 2015) y estudiando las precipitaciones desde un enfoque de *Análisis de Frecuencia Regional*, se mencionan algunos de los rasgos ya citados. Los registros pluviométricos en una *región homogénea* se agrupan para compensar la escasez de

datos temporales, aplicándose los datos espaciales registrados en otras estaciones de la misma región, ya que si ésta es homogénea se supone que todos los lugares situados dentro de ella tienen la misma *curva* de comportamiento y responden a causas similares. No obstante, el factor de escala *in situ*, por ejemplo, el valor de la media o la mediana, es único para cada punto, lo que refleja la variación en generación de precipitaciones, de acuerdo con las características geográficas del lugar.

Sin duda, la profesora Galán Gallego es quien establece una aproximación al concepto de regionalización climática más exacta basada en los objetivos fundamentales que se persiguen:

- a) analizar la variabilidad espacial de los principales elementos climáticos.
- b) determinar los factores de distribución espacial y las funciones que los correlacionan.
- c) delimitar las diferencias y similitudes existentes entre los distintos sectores espaciales.

El procedimiento seguido consiste, generalmente, en la elaboración de modelos de distribución espacial y el establecimiento de áreas climáticamente homogéneas. “Las técnicas estadísticas aplicadas son las propias de la estadística bivariada (correlación y regresión simple) y el análisis multivariante (regresión múltiple, análisis factorial, análisis de *clústeres* y análisis discriminante). Como es sabido, uno de los principales problemas que aparecen en los estudios de climatología regional es la ausencia de observatorios en extensas áreas, especialmente en zonas de montaña, donde las variaciones espaciales de los elementos climáticos son más acusadas. Son precisos modelos que permitan extrapolar los datos puntuales a superficies más o menos extensas” (Galán Gallego, 1997). Nos congratula que esta definición, la más precisa y completa que hemos encontrado, provenga de la climatología geográfica española y de una investigadora pionera en esta temática en nuestro país.

Por último, hemos querido acercarnos al presente y buscar, de una forma directa, cómo se utilizan estos términos en relación con el clima y la climatología en la Web para comprobar las ideas que hemos ido extrayendo a lo largo de los apartados anteriores.

#### **3.3.4. Concepto y utilización actual de estos términos**

Como fuente de información complementaria pensamos, sin ánimo de llevar a cabo una exploración exhaustiva, realizar tres tipos de sondeos explorando otras opciones de referencias académicas, pretendíamos comprobar si los contenidos extraídos de nuestra bibliografía de referencia tenían fundamento, abriendo el abanico de



búsqueda. Realizamos dos *pruebas*, la primera consistió en hacer una búsqueda a través de la potente plataforma que ofrece Google Académico y la propia Web utilizando palabras clave como “regionalización” y “clasificación” combinadas con otros términos que nos permitían restringir los resultados a la climatología. En segundo lugar, rastreamos en revistas de referencia habitual en Climatología como el *International Journal of Climatology* o la *American Society of Meteorology* que permite, por el procedimiento de cita cruzada, establecer relaciones entre algunas revistas internacionales. Este sencillo ensayo nos ha permitido reforzar algunos conceptos que consideremos relevantes y que invitan a continuar profundizando en esta dirección. Antes de exponerlas presentamos los resultados de estos sondeos.

En primer lugar, hemos constatado que las búsquedas en Google Académico, cuyos resultados aparecen en la tabla (Tabla 1.3), varían notablemente si se realizan en castellano o en inglés, y también si combinamos la búsqueda con la palabra *Clima* o *Climatología*. El número de resultados obtenidos fue mayor en inglés, por ser *el idioma de la ciencia*, y con la opción *clima* dado que este término implica por lo general hablar de tipos de clima, un contenido básico ligado a los sistemas de clasificación. Este hecho explica el mayor número de resultados obtenidos cuando buscamos las palabras “Clasificación y clima”, en cualquiera de los dos idiomas, aunque predominan aquellos que relacionan la vegetación con el clima y destacan aquellos que se centran en el sistema de Köppen.

Los datos indican que en la actualidad los términos cuyo significado científico intentamos precisar no son sinónimos y que existen importantes diferencias en su utilización en climatología y en las ciencias atmosféricas. Esta simple comprobación nos permite constatar varios hechos: en primer lugar, los términos regionalizar y clasificar parecen tener acepciones muy diferentes para el mundo académico que publica en medios anglosajones y para los que lo hacen en castellano, lo que se traduce en trabajos con temáticas diferentes. Los estudios encontrados en inglés con la palabra *Regionalization*, unida a *Climate* o *Climatology* están en su mayoría dedicados a la identificación de patrones de variabilidad espacial, por el contrario, entre los publicados en castellano, predominan los relacionados con la generación de escenarios regionalizados de cambio climático para su aplicación en estudios de evaluación de impactos.

**Tabla 1.3. Resultado de las búsquedas en Google Académico de estudios climáticos encontrados a partir de los términos regionalización y clasificación.**

Idioma	Término	Número de Resultados	Temática más Frecuente	Escala
Inglés	Regionalization/climate	29.800	Identificación de patrones espaciales de variabilidad	Mesoescala Escala local
	Regionalization/climatology	9.830		
	Classification /Climate	2.300.000	Sistemas de clasificación clima-vegetación	Global Continental <i>Nacional</i>
	Classification /Climatology	69.000	Clasificaciones de tipos sinópticos/circulación atmosférica	
<i>Fecha de búsqueda: enero 2015</i>				
Castellano	Regionalización/clima	11.600	Modelización Escenarios de cambio climático	Global/regional
	Regionalización/climatología	2.400		
	Clasificación /Clima	139.000	Sistemas de clasificación clima-vegetación	Global Continental <i>Nacional</i>
	Clasificación /Climatología	19.900		

Elaboración propia.

Tal como expone el documento *Regionalization of climate change information for impact assessment and adaptation* (Giorgi, 2008), para el desarrollo de políticas de adaptación y estabilización de gases de efecto invernadero (GEIs) se necesitan conocer los cambios en los parámetros y variables climáticas a escala muy inferior a la que ofrecen los modelos de circulación general acoplados atmósfera-océano (MCGAAO). Estos modelos simulan con exactitud las características del clima a gran escala, pero tienen una capacidad limitada para reproducir los climas regionales y locales, dada su escasa resolución espacial (100-300 km). Ésta es la razón por la que se utilizan las técnicas de *regionalización* o de disminución de escala, denominadas en inglés de *downscaling*, que adaptan las salidas de los modelos globales a las características fisiográficas de una determinada región (topografía, vegetación, etc.). Desde finales de 1980 y principios de 1990 las técnicas de regionalización, así entendidas, se han aplicado cada vez más a una amplia gama de problemas relacionados con el cambio climático, demostrando ser un recurso fundamental para la investigación, por lo que se han convertido actualmente en un objetivo prioritario de todos los programas internacionales y nacionales.

En el lenguaje académico anglosajón existen desde los 80 dos términos diferentes, uno para los métodos y técnicas que se aplican, el *downscaling*, y otro para sus resultados, las regionalizaciones. No obstante, en términos generales se hace referencia a dos

tipos de estudios distintos cuando se utiliza *regionalization* o *dowscaling*. Los primeros dedicados a la delimitación de zonas homogéneas mediante técnicas básicamente multivariantes lo que Rohli y Vega denominan *análisis cuantitativo para obtener tipos climáticos* (Rohli y Vega, 2013), y los segundos relacionados con modelización.

Si en inglés aparecen diferentes significados, en el caso de los estudios en castellano, al no existir una tradición consolidada de investigación en regionalización estadística, estas se han asociado a los métodos de reducción de escala de los GCM. Los trabajos de regionalización, en el sentido que venimos comentando, aparecen en España en los 90, iniciados en la Universidad Autónoma de Madrid (Galán Gallego y Fernández García, 1990), el grupo de la Universidad Politécnica de Cataluña (Fernández Mills, 1995; Fernández Mills *et al.*, 1994; Periago *et al.*, 1991) y otros investigadores (Rasilla Alvarez, 1994; Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998; Romero y Ramis, 1999). Sin embargo, este tipo de estudios no se consolidan en la investigación española, salvo aportaciones puntuales como las de Muñoz-Díaz y Rodrigo en 2004 o Argüeso y colaboradores en 2011. Por el contrario, el prestigio y reconocimiento científico internacional de muchos investigadores españoles dedicados a la modelización climática ha supuesto un auténtico *boom*, obteniendo importantes inversiones y financiación a este tipo de proyectos. Prueba de ello son las temáticas y ponencias de los trabajos presentados en los últimos congresos de la Asociación Española de Climatología. Este predominio hace que el término regionalización se asocie principalmente con este último tipo de estudios, y que no aparezcan asociados a una determinada metodología y a una temática como ocurre en la literatura anglosajona.

Si cambiamos los términos por *Classification* y *Climatology* encontramos entonces un número muy superior, 69.000 entradas. Repitiendo estas peticiones en castellano la primera opción (*regionalización* y *clima*) obtiene casi 16.300 resultados, la segunda (*clasificación* unida a la palabra *clima*) obtiene 140.000, aunque no resulta una búsqueda precisa ya que aparecen asociadas a otras temáticas. Si la cambiamos por *climatología* encontramos 19.500 en castellano. Las cifras cambian notablemente cuando introducimos cualquiera de los dos términos, más climatología, en el buscador de Google en la Web.

A lo largo de los siglos existen también modificaciones en la aplicación y significado de estos términos, ligadas al desarrollo de las posibilidades computacionales y de aplicación de técnicas estadísticas multivariantes. Por otro lado, el predominio actual del cambio climático como centro de la investigación en las “ciencias de la tierra y de la vida”, ha impulsado hacia la modelización climática que proporciona escenarios y proyecciones que son incorporados a la investigación en todas estas disciplinas.

### 3.3.5. Regionalización y climatología regional

Vamos a iniciar este apartado con la siguiente consideración: “El conocimiento del clima de un lugar, con sus elementos más representativos y la combinación de éstos, constituye uno de los fundamentos básicos de la ciencia climática y objeto de la Climatología Regional. Por la naturaleza de los aspectos que analiza, los estudios regionales con frecuencia son un paso previo, pero fundamental en la investigación del medio atmosférico; constituyen la base necesaria a partir de la cual se abordan otros cambios que se sitúan en la línea de la climatología aplicada” (Cuadrat Prats y Pérez-Cueva, 2007).

El objeto de esta climatología regional serían la región que entendidas desde un punto de vista climático serían, tal como recoge el glosario del cuarto informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, sería “territorio caracterizado por determinados rasgos geográficos y climatológicos. El clima de una región resulta afectado por forzamientos de escala regional y local, como la topografía, las características de los usos del suelo, los lagos, etc., y por influencias provenientes de regiones distantes”(Baede, 2007).

Tras esta definición podemos comprobar que llevar a cabo este tipo de estudios no resulta sencillo ya que el clima está influenciado por diferentes factores en cualquier zona geográfica, por ello las clasificaciones climáticas han sido y continúan siendo un instrumento empleado frecuentemente para identificar tipos de clima similares o estudiar la variabilidad regional (Jacobeit, 2010; Bieniek et al, 2012). No obstante, los diversos métodos para establecer clasificaciones climáticas plantean interrogantes tanto en su aplicabilidad como en su calidad (Geng *et al.*, 2014). Sin duda la principal dificultad reside en poder establecer criterios generales que resulten representativos (Sánchez Santillán y Garduno, 2008). Por esta razón, y dada la enorme variabilidad y diversidad de las condiciones climáticas, es necesario tener un conocimiento previo de los rasgos que prevalecen en una región y efectuar estudios comparativos que evalúen y clarifiquen diferencias con el fin de obtener una mejor comprensión de las características del clima, antes de proceder a la aplicación de un sistema de clasificación.

El factor climático ha sido utilizado como elemento determinante en la interpretación de las relaciones y diferencias existentes en la superficie terrestre, como base para la elaboración de divisiones regionales del mundo y la descripción de sus unidades espaciales. Los elementos climáticos (temperatura, precipitaciones, humedad etc.) condicionan la aparición de diferencias en el medio geográfico (divisiones regionales del mundo basadas en el clima), en estas últimas, debido principalmente a su capacidad para condicionar la distribución de la vegetación, de los cultivos y el hábitat de los animales, etc. (Olcina Cantos, 1996). La mayor parte de las clasificaciones se relacionarían con este segundo tipo, por lo que tradicionalmente la delimitación de

subregiones ha dependido del parámetro climático elegido y se ha basado, como ya hemos comentado, en la observación de los tipos de vegetación, en la distribución de índices de humedad, etc. La subjetividad asociada a esta *elección* de fronteras climáticas se ha evitado utilizando, en gran medida, métodos de regionalización multivariantes más rigurosos.

Además, durante una gran parte del siglo XX el paradigma dominante establecía que el clima era básicamente *constante*, a escalas de tiempo de décadas a siglos, y que las variaciones durante un periodo específico de tiempo se debían a los métodos de muestreo (Trewin, 2007). Se afirmaba que “en su gran mayoría, las fluctuaciones climáticas a gran escala están constituidas por variaciones no lineales que a largo plazo oscilan de una forma irregular en torno a un valor medio climatológico” (Jagannathan *et al.*, 1967). De este concepto se deduce, como explica Trewing, que las medias a largo plazo deberían converger hacia ese estado constante cuando se considera un periodo promedio suficientemente largo. Tras muchos debates internacionales, a finales del siglo XIX y principios del XX, se fijó un periodo de 30 años como el promedio más adecuado. Bajo este paradigma, los estudios regionales del clima parecían *haber acabado* y perdido su relevancia científica, algo que en ciertos ámbitos científicos sigue siendo una realidad confirmada por ciertos autores cuando dicen: “Es cierto que aparecen investigaciones de climatología regional en publicaciones periódicas, con claras innovaciones en sus objetivos y técnicas empleadas; pero a pesar de estos esfuerzos, la descripción climatológica regional, por sí misma, no parece ya ser un objetivo de investigación destacado” (Cuadrat Prats y Pérez-Cueva, 2007).

A nuestro parecer, esta realidad hace tiempo que ha dejado de ser cierta, y el estudio del clima actual está dominado por los cambios debidos al impacto humano, lo que determina que éstos sean lo suficientemente significativos como para superar los límites de la variabilidad natural. La aceptación del cambio climático supone asumir la posibilidad de modificaciones seculares a largo plazo para el conjunto de los elementos climáticos. Como afirma el ya citado Trewing, “la importancia de estas tendencias seculares radica en que, en un determinado lugar, reducen la representatividad de los datos históricos como indicadores del clima actual, y probablemente del futuro. Además, la existencia de fluctuaciones climáticas superiores a las explicables por la variabilidad aleatoria sugiere que, incluso sin cambio climático antropogénico a largo plazo, puede que no exista un estado estable hacia el que converja el clima, sino más bien una acumulación de fluctuaciones en múltiples escalas de tiempo”.

Un objetivo actual de la ciencia climática aplicada es mejorar el conocimiento a nivel regional y local, puesto que cuanto mayor sea la escala a la que esta información pueda ser proporcionada, mayor es la relevancia para los usuarios en la mayoría de las aplicaciones. Tal es el caso del *California Climate Tracker* (<http://www.wrcc.dri.edu/monitor/cal-mon/>) (WRCC), que ha aceptado este desafío y

destaca en sus esfuerzos por describir, monitorizar y explicar las características climáticas temporales y espaciales del Estado de California a partir de la identificación objetiva de regiones homogéneas. Estas se pueden emplear no sólo en el seguimiento del clima a partir de sus *firmas regionales*, sino también en la mejora de la comprensión de los mecanismos que subyacen en la variabilidad climática regional y el cambio climático (Abatzoglou *et al.*, 2009), de ahí que se hayan incorporado herramientas de análisis objetivo como base para la posterior aplicación de instrumentos operativos en la gestión del clima.

En este nuevo paradigma de cambio parece haber perdido relevancia la climatología geográfica, ante lo que algunos han llegado a afirmar: “la Climatología, antes rama de la Geografía, ha realizado diversas caracterizaciones climáticas tanto a nivel mundial como regional, a partir del agrupamiento sistemático de los elementos del clima en clases según sus relaciones comunes” (Sánchez Santillán y Garduno, 2008). Esta idea pone de manifiesto la creencia de que la geografía no es capaz de abordar estudios climáticos cuyo objetivo sea identificar *objetivamente* los patrones regionales de variabilidad del clima y la delimitación de zonas climáticamente homogéneas.

De ahí que vuelvan a tener sentido las reflexiones de algunos autores que recoge Gómez Mendoza: “La investigación geográfica regional puede dedicarse, como muestra Bunge y constata detalladamente Grigg, a establecer criterios de clasificación lógica similares a los que se aplican en cualquier campo científico. Y en la investigación geográfica regional pueden utilizarse, como advierte Berry, modelos conceptuales que permiten reformular matemáticamente el análisis de los datos que definen significativamente la situación, las características y la dinámica del espacio regional” (Gómez Mendoza *et al.* 1982, p.115). Dumolard en su propuesta de sistematización conceptual defiende que la región se entiende como un estado abierto que manifiesta en cada momento una determinada estructura interna (Dumolard, 1975).

Tal como comenta Gil Olcina para el caso español, “sin olvidar la existencia de excelentes estudios monográficos, aproximaciones y síntesis de climatología regional de España, quizá se echa en falta, para el momento presente, una investigación de esa naturaleza, que asuma la delicada y ardua tarea de incorporar todos los avances antes mencionados a las nuevas perspectivas y conocimientos que se han producido en la climatología en su reciente crecimiento espectacular de las últimas décadas. La atención creciente a la climatología local obedece, en gran medida, a que maneja la escala adecuada para averiguar las modificaciones de los elementos climáticos y para ejercer el carácter eminentemente aplicado de la disciplina” (Gil Olcina, 2007). Ante esta realidad cambiante hay que combinar un análisis y una evaluación lo más completa posible de los componentes que integran el sistema climático a escala regional, de forma continua y actualizada, describiendo en estas unidades espaciales sus *firmas climáticas*. Se deben aplicar unas técnicas de investigación innovadoras que

permitan interpretar mejor sus características y variabilidad espacio-temporales, con el fin de mejorar nuestra capacidad de diagnóstico para la gestión del clima en el contexto de cambio global.

### **3.4. Consideraciones geográficas sobre las regionalizaciones climáticas**

Tras este recorrido acerca de las implicaciones climáticas del término regionalización nos ha parecido pertinente, antes de finalizar este capítulo, hacer algunas consideraciones que se derivan de las regionalizaciones relacionadas con el espacio y el territorio; la geografía puede tener una situación relevante ya que entronca con conocimientos de una larga tradición histórica en la disciplina. Las reflexiones que recogemos a continuación están interrelacionadas y se condicionan entre sí.

#### **3.4.1. La escala de trabajo**

La primera reflexión relativa al término regionalizar es que alude a la realización de estudios a macroescala o mesoescala como las más adecuadas de análisis. Relacionar los fenómenos a diversas escalas es, como dice Simon, el problema central de todas las ciencias; comenta este autor que “la clave para la predicción y la comprensión se encuentra en la elucidación de los mecanismos que subyacen a los patrones observados. Por lo general, estos mecanismos operan a escalas diferentes de aquellos cuyos patrones se observan; en algunos casos, los patrones son el resultado de los procesos a menor escala. En otros casos, el patrón está impuesto por las limitaciones de mayor escala. El examen de estos fenómenos requiere el estudio de cómo el patrón y la variabilidad cambian con la escala de la descripción, con el fin de poder establecer leyes que permitan simplificar, agregar y escalar” (Simon, 1992).

Al igual que el concepto de clima en relación con el tiempo implica la idea de la persistencia sobre una zona, de la misma manera se asocian a las características de un espacio una combinación definida de factores explicativos. Ahora bien, identificar y establecer con precisión el grado en que cada uno de ellos actúa hasta configurar un tipo de clima representativo de una región geográfica, es algo complejo y suele plantear ciertas dificultades (Contreras Arias, 1942). Esto se debe a que los registros climáticos son el resultado no sólo de los climas zonales, sino también de los regionales y locales ya que hasta el momento no ha sido posible separar sus componentes. La cuestión es compleja ya que dentro de muchas áreas consideradas como unidades climáticas homogéneas no existe la uniformidad que se presupone; en una misma región existen diferencias que causan desviaciones respecto al tipo climático de referencia, debido a la topografía, a las diferencias de exposición a los rayos solares en las laderas de montaña, a las variaciones debidas a la orientación en

los valles e incluso a los efectos producidos por la cercanía de bosques, lagos, ciudades, etc. (Steiner, 1965)

Los mismos principios de la ecología pueden ser aplicados al clima ya que los procesos responsables de la interconexión entre los ecosistemas, en nuestro caso escalas climáticas, condicionan sus patrones espaciales operando de una forma simultánea a diferentes escalas espaciales y temporales (Martin de Agar *et al.*, 1995). En efecto, el estudio del clima y de la delimitación de zonas climáticas lleva implícito abordar la escala más adecuada, aspecto nada fácil de determinar pues supone identificar la más significativa espacial y temporalmente. Las escalas de los fenómenos meteorológicos no tienen por qué coincidir con su representatividad espacial a la hora de configurar una tipología climática, por esta razón vamos abordar brevemente algunas cuestiones relacionadas con la escala espacial y la temporal.

#### **a) Escalas temporales del clima**

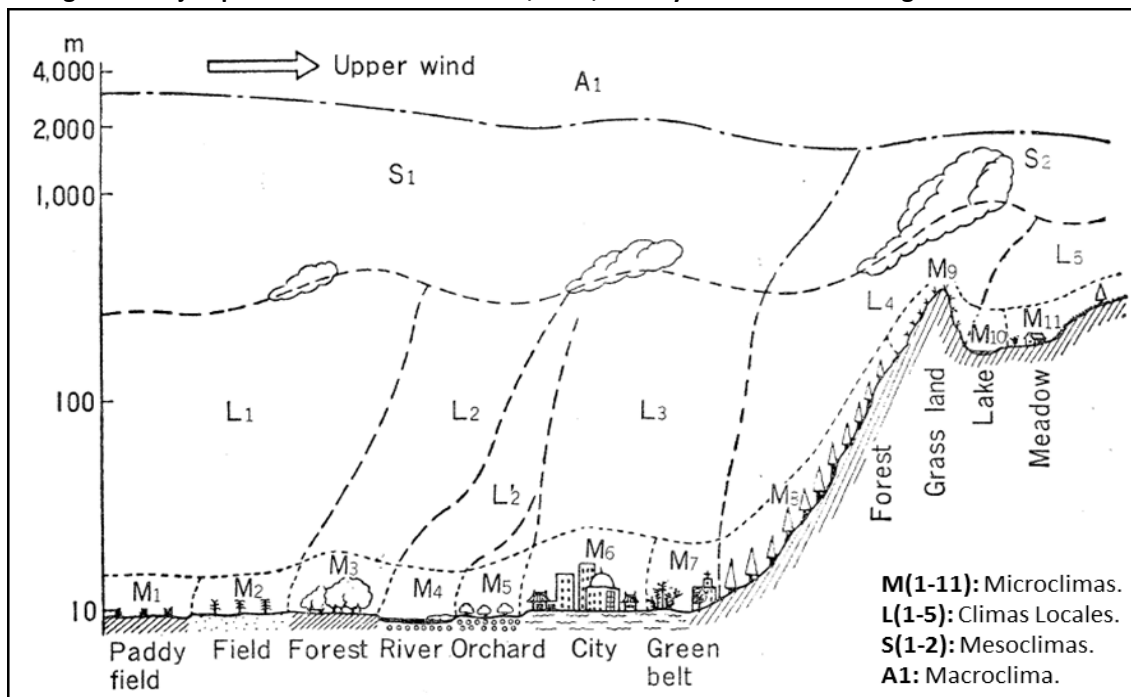
En climatología se diferencian tres escalas básicas de trabajo: macroclima, mesoclima y microclima cuya aplicación depende del propósito último que se plantee. La mayor parte de las clasificaciones climáticas son macroclimáticas, relacionadas con los procesos a gran escala, pero es necesario considerar los fenómenos que se desarrollan a otras escalas, desde diez a centenares de kilómetros con una influencia decisiva en los valores de los elementos meteorológicos que condicionan los mesoclimas de una zona. A su vez, éstos son el resultado de procesos que se desarrollan a escala microclimática, de decenas de metros, y son el resultado de condiciones geográficas específicas tales como la topografía o la vegetación (Khlebnikova).

Como afirma Yoshino, no hay diferencias de opinión significativas entre los académicos respecto a los conceptos de microclima y macroclima (Yoshino, 1975, p.4). Microclima hace referencia a la capa cercana a la superficie de la tierra, en donde las condiciones del terreno tienen un papel importante. (...) Este concepto es el más aceptado en las investigaciones basadas en la observación de los fenómenos físicos que tienen lugar examinando el gradiente vertical cerca de la superficie. Respecto a los climas locales, el interés se centra principalmente en la distribución vertical del aire, de mayor importancia que la distribución horizontal. Más complicado resulta abordar las definiciones de clima local y mesoclima, pues se refieren a los fenómenos climáticos que van desde los macroclimas a las subclases de microclimas cercanos, afectando las condiciones de la distribución de los climas en áreas pequeñas (Yoshino, 1975).

Yoshino en 1961 hizo una recopilación de la división de las escalas de los fenómenos climáticos llegando a la conclusión de que pueden dividirse en cuatro: (1) microclima, (2) climas locales, (3) mesoclima, y (4) macroclima (véase Figura 2.3), poniendo en relación las escalas climáticas con los fenómenos meteorológicos correspondientes.



Figura 2.3. Ejemplo de los fenómenos micro, local, meso y macroclimáticos según Yoshino 1961.



Fuente: Yoshino, 1975 p.12.

Considerando otras terminologías asociadas a las escalas de análisis, *regionalizar* se correspondería con las diferencias que puede reconocerse en las clasificaciones climáticas entre “Región climática” y “Provincia climática”, entendida la primera como el sector, inserto en un dominio climático, en el que la circulación atmosférica y los elementos climáticos adquieren rasgos peculiares en función de las características del medio físico (Olcina Cantos, 1996), es lo que Pagney denomina factores geográficos, tales como la influencia marítima, la ubicación de relieves o la disposición de la línea de costa (Pagney, 1982).

Podemos pues, identificar una de las características del término regionalizar: su escala de análisis que se situaría entre la escala mesoclimática o de los climas locales según Yoshino. ¿Qué límites se pueden establecer entre macro, meso, y microclimatología?

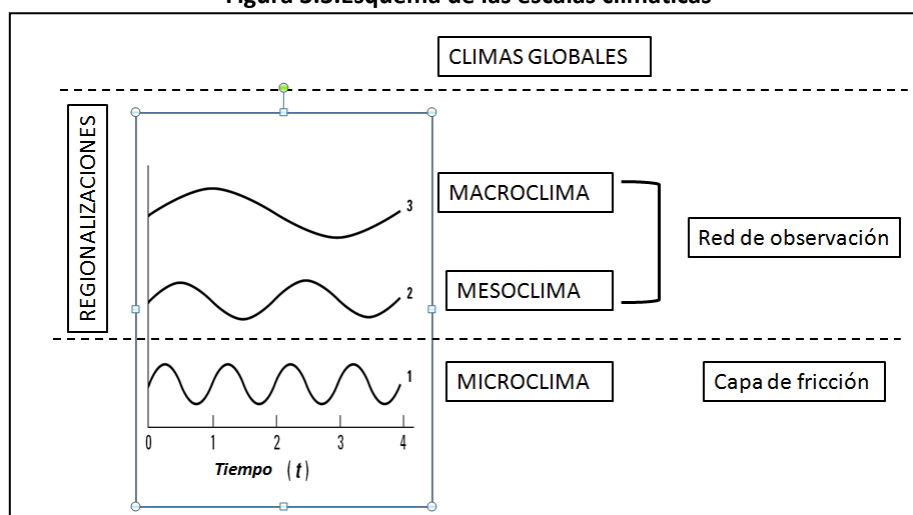
**La extensión espacial** adecuada para un tipo de estudio climático está determinada, en gran medida, por **el grado de persistencia o inmutabilidad** de sus características climáticas. Los tres tipos de escalas climáticas establecidos están relacionados con los diferentes grados de variabilidad ya que ésta aumenta a medida que el espacio considerado es más restringido (véase Figura 3.3). Los climas regionales o macroclimas, presentan el grado más alto de estabilidad ya que están determinados básicamente por su posición geográfica, incluyendo las características orográficas generales (altitud, situación en relación con una cadena de montañas, etc. La escala mesoclimática es menos estable al encontrarse dentro de *un macroclima* y estar más condicionada por las características topográficas, o por la influencia del tipo de superficie de extensas zonas tales como bosques, masas de agua, etc. Por último, en el caso de microclimas

*carecen esencialmente de estabilidad* ya que dependen de las características puramente locales, de tipo topográfico, a causa de la evolución de los usos, de la cubierta vegetal, de las actividades de los agricultores, etc. (Contreras Arias, 1942).

Pueden encontrarse muchas otras consideraciones sobre las escalas en el primer apartado del capítulo 1 de Yoshino, pero destacamos una serie de consideraciones que afectan a la escala a la que puede ser aconsejable regionalizar y que queda justificada por las siguientes consideraciones (Yoshino, 1975 p.5):

- La importancia relativa de la dimensión vertical y horizontal para cada escala es lo que básicamente determina la diferenciación entre las escalas de los fenómenos climáticos. En este sentido las regionalizaciones comenzarían a tener sentido desde el momento en que la escala vertical deja de ser la fundamental; en este sentido el rango vertical de los climas locales está limitado a la capa de fricción (50-100m) de la atmósfera donde ésta tiene mayor influencia que el efecto de la fuerza de coriolis, mientras los mesoclimas incluyen el límite superior de esta capa de rozamiento (hasta 1 Km).
- La diferencia de escalas en los fenómenos climáticos está determinada por la dimensión en que actúan sus factores así como por la proximidad de la superficie activa, fuentes de calor y humedad, sobre la cual tienen lugar los mecanismos básicos de desplazamiento del aire (intercambio por turbulencia) (...). Los factores climáticos determinantes en los climas locales son el meso-relieve, las masas de vegetación, etc.

Figura 3.3. Esquema de las escalas climáticas



Fuente: Elaboración propia. Figura básica tomada de Turner *et al.* (2001).

Existe otro aspecto, de orden práctico, que determina la diferenciación de estas escalas como es disponer de datos climáticos suficientes como para poder desarrollar

regionalizaciones. En el caso de la climatología local o microclimatología es necesario realizar campañas de medición o establecer redes de medición, específicamente diseñadas con esta finalidad puesto que las redes meteorológicas habituales no proporcionan la información que requiere este tipo de estudios.

Como indica Barry (1970), las escalas de tiempo en los climas locales plantean también problemas y sería deseable tener en cuenta la frecuencia de tipos sinópticos. En la escala regional la explicación sinóptica puede abordarse de forma general, dado que no exige un análisis exhaustivo para explicar escalas de detalle y esto es debido a que los factores fisiográficos regionales juegan un papel igualmente importantes.

### b) Escalas geográficas del clima

Otra forma de organizar los fenómenos climáticos es en relación con la escala geográfica a la que resultan significativos; lo interesante de esta aproximación es, como dice Yoshino, que contempla clima y regiones como unidades (Yoshino 1975, p.10). Generalmente el clima de una región es una combinación de varios climas locales en consonancia con sus escalas. Esta idea ha estado unida tradicionalmente al concepto de región geográfica en el mismo sentido de Weischet (1956) cuando equipara clima regional con macroclima, y el clima subregional desde esta escala a los topoclimas. Yoshino establece la correspondencia que se recoge en la tabla (Tabla 2.3) en el que se relacionan la escala climática y la geográfica basada en la propuesta de Weischet. Por debajo de la escala 1:50.000 entraríamos en el dominio de los microclimas en los que no podríamos establecer regionalizaciones. Esta equivalencia es aproximada ya que depende de otros factores como las características físicas del medio, la complejidad topográfica o la densidad de la red de medición, entre otras.

**Tabla 2.3. Correspondencia entre las escalas geográficas y climáticas**

Escala climática	Propuesta de Weischet	Escala geográfica aproximada
Macroclima	Clima regional	≥ 1:1.000.000
Mesoclima	Clima subregional	1:100.000 – 1:1.000.000
Climas locales	Clima local	1:50.000 – 1:100.000
Microclimas		1: 5.000 – 1:50.000

Fuente: Elaboración propia a partir de Yoshino (1975) modificado.

Como continúa diciendo el autor, es importante tener en cuenta que el problema de las escalas de los climas locales consiste en la configuración de los paisajes o regiones, y por tanto las áreas climáticas dependerían, pues, de la homogeneidad de las zonas, la significación de sus tipos y su validez regional.

En ecología la teoría jerárquica de sistemas ha permitido disponer de un método para ir acoplado las diferentes escalas de los ecosistemas. Según Montes “esta jerarquía debe entenderse como una categorización escalar de ecosistemas asociados por las

mismas dimensiones espaciales. Para cada nivel jerárquico todas las propiedades de sus componentes son relevantes a la hora de determinar sus patrones de comportamiento. Hay que tener presente, no obstante, que una clasificación de ecosistemas, por el mero hecho de tener una organización jerárquica, no tiene por qué seguir conceptualmente la teoría jerárquica de sistemas”(Montes *et al.*, 1998).

Montes cita el sistema de clasificación jerárquica de ecosistemas (Tabla 3.3) para relacionar diferentes escalas espaciales en el que se incluyen para cada nivel de clasificación, su denominación, escala cartográfica más usada y características para la clasificación. Llama la atención cómo el clima sólo está presente, a escala planetaria, a nivel de ecozona, lo que correspondería casi con los climas zonales o a nivel de los macroclimas. Se eluden en esta clasificación las restantes escalas climáticas como factor de clasificación, lo que resulta realmente llamativo. Esta simplificación hace pensar más en la dificultad de analizar el clima aumentando la escala, regionalizando, de ahí que se limite a la información que proporcionan los grandes sistemas de clasificación mundial. Posiblemente si existiese más información sistematizada climática, a escala de detalle, estas ecozonas estarían mejor definidas al disponerse de las características climáticas de cada uno de estos niveles.

**Tabla 3.3. Sistema de clasificación jerárquica de ecosistemas, a diferentes escalas espaciales.**

NIVELES DE CLASIFICACION	ESCALA CARTOGRAFICA INDICATIVA	UNIDAD CARTOGRAFICA BASICA	CARACTERISTICAS DE LA CLASIFICACION
ECOZONA	1: > 50.000.000	> 62.500 Km <sup>2</sup>	Climáticas
ECOPROVINCIA	1: 50.000.000 - 10.000.000	62.500 - 2.500 Km <sup>2</sup>	Geológicas y Geomorfológicas
ECORREGION	1: 10.000.000 - 2.000.000	2.500 - 100 Km <sup>2</sup>	Litológicas y Geomorfológicas
ECODISTRITO	1: 2.000.000 - 500.000	10.000 - 625 ha	Hidrología superficial y subterránea
ECOSECCION	1: 500.000 - 100.000	625 - 25 ha	Relieve, suelos
ECOSERIE	1: 100.000 - 25.000	25 - 1,5 ha	Condiciones que afectan directamente al crecimiento de la vegetación (suelo, régimen hidrológico)
ECOTOPO	1: 25.000 - 5.000	1,5 - 0,25 ha	Unidad espacial más pequeña que puede ser cartografiada como polígonos y posee una estructura de la vegetación homogénea
ECOELEMENTO	1: < 5.000	< 0,25 ha	Elementos puntuales no cartografiables como polígonos a escalas superiores

Fuente: Propuesta por Klijn (1991;1994) y Klijn y Udo de Haes (1994) tomado de Montes y *et. al.* (1998).

El análisis de este sistema de clasificación nos muestra que las características climáticas de un determinado lugar pueden llegar a ser *muy diferentes* según la escala a la que se aborde, lo cual tiene mayor trascendencia de la que en un principio pueda parecer ya que la validez de los datos climáticos cambiaría los criterios sobre los

métodos o los elementos que se deben utilizar para delimitarlos. Conjugarse estas dos escalas sigue siendo una cuestión difícil ya que pueden intervenir otros elementos como la propia disponibilidad de información, los objetivos que se persigan, el fin práctico del estudio, e incluso dependerá de la comprensión geográfica del propio lugar.

Las reglas básicas que se establecen para las escalas ecológicas son aplicables para las climáticas y están basadas en los siguientes criterios:

- Los patrones dependen de la escala de observación.
- La importancia de las variables explicativas cambian con la escala.
- Las relaciones estadísticas pueden cambiar con la escala.
- Los patrones son generados por procesos que actúan a diferentes escalas temporales y espaciales.

Estas premisas muestran que no existe una única escala adecuada con la que describir un sistema, lo que no significa que cualquiera sirva o que no haya normas para identificar la más apropiada. Hay que tener en cuenta los diferentes tipos de escalas, su relación y, en la medida de lo posible, diseñar y utilizar métodos que sean sensibles a múltiples escalas de muestreo. La autocorrelación es un buen método para resumir cómo los patrones cambian con la escala (Stallins, 2015).

De todo ello se desprende que la aplicación real de los métodos generales de clasificación climática, los procedimientos basados en los sistemas clásicos, sólo pueden servir para delimitar regiones a escala global, dirigidas al estudio de los macroclimas de la Tierra. Una vez establecidos, es necesario completar su descripción climatológica analizando los rasgos característicos mesoclimáticos de sus diferentes ámbitos o, al menos, señalar los factores que crean dichas variaciones. En el caso de las características microclimáticas, su estudio pertenece a la climatología aplicada y está sujeto a los fines y criterios del investigador en cada caso (Contreras Arias, 1942).

Por lo tanto, la escala más adecuada para aplicar un proceso de regionalización es en principio la mesoescala que permite conjugar las necesidades de datos y los elementos que se elijan con los requerimientos de los métodos multivariantes que se aplican.

#### **3.4.2. Cartografía y representación espacial**

Cualquier mapa de distribución de una variable climática es, por definición, un esquema de clasificación (Oliver, 2006a). Como acabamos de ver, en climatología es difícil establecer las escalas climáticas y, por tanto, su representación cartográfica, no ocurre como en la ecología, donde sin estar exento de dificultad, “los ecosistemas pueden, en primer lugar definirse, es decir, clasificarse, y posteriormente reconocerse

espacialmente, o sea, cartografiarse a diferentes escalas espaciales. (...) En este contexto, la aproximación ecosistémica, a través de la clasificación jerárquica, permite inventariar y cartografiar los ecosistemas de un territorio y por tanto, indirectamente darle una expresión espacial a los valores instrumentales de los recursos que estos representan. Asimismo posibilita la elección del mapa a la escala más adecuada, escala a la que se recoge con mayor garantía la estructura ecológica de un espacio concreto” (Montes *et al.*, 1998).

La teoría jerárquica de sistemas ha permitido disponer de un método para ir acoplando las diferentes escalas de los ecosistemas a partir de cualquier propiedad que sirva para reconocerlos espacialmente (datos de campo, fotografías aéreas o imágenes de satélite). Esta aproximación es la misma que adoptaron las primeras clasificaciones climáticas y explica la utilización de elementos del medio físico como forma de reconocer estos límites espaciales y de escala.

Hoy en día, las técnicas de interpolación facilitan la producción de mapas de alta resolución de variables climatológicas. Las técnicas geoestadísticas combinadas con los Sistemas de Información Geográfica posibilitan la modelización del comportamiento de las variables climáticas y producen cartografías digitales de alta resolución temporal y espacial. Este tipo de cartografías presenta ventajas tales como: ser *objetivas* y automáticas, mejorar las aproximaciones anteriores basadas en el criterio de expertos y permitir llevar a cabo una caracterización muy precisa del clima (Cuadrat Prats y Vicente Serrano, 2008). Los avances tecnológicos han creado nuevas posibilidades para la definición y elaboración de cartografías climáticas basadas en criterios cuantitativos, aunque al mismo tiempo aparece la necesidad de efectuar estudios que evalúen la precisión de los métodos de regionalización (Kupfer *et al.*, 2012).

Los motivos principales que han dificultado, hasta ahora, la realización de cartografías climáticas son: el carácter puntual de la información proporcionada por las estaciones meteorológicas, el déficit de registros y la difícil obtención de datos. A esto hay que sumar la desequilibrada distribución en el espacio de las redes de medición que no fueron diseñadas específicamente para conocer el clima. Con el fin de superar tales limitaciones, y cartografiar de forma más precisa la variabilidad climática real, se han desarrollado en los últimos años diferentes técnicas de cartografía automática que permiten estimaciones continuas de las variables. Los métodos son muy diversos y difieren enormemente en cuanto a su concepto y formulación matemática (Burrough y McDonnell, 1998). Las ventajas de estos productos cartografías, entre otras, consisten en:

- Ofrecer una mayor fiabilidad al estar realizadas mediante métodos objetivos.
- Permitir la predicción continua en todos los puntos del espacio.
- Posibilitar la disponibilidad digital.
- Facilitar el acceso en la Web a partir de servicios interoperables o geoportales.

Abordar el tema de las cartografías climáticas, en toda su complejidad, está fuera de nuestro alcance, pero señalaremos algunos aspectos que pueden tener relevancia en el reflejo espacial de las regionalizaciones:

- Las escalas cartográficas no serían absolutas en términos de su producción, es decir, medibles físicamente, sino escalas relativas donde la distancia se construye según un criterio de similitud.
- La escala espacial y temporal de los elementos o procesos cartografiados se refleja en **una escala operacional**, en el sentido de que no es independiente de las observaciones, ya que su elaboración está basada en la información disponible. Si estas observaciones cambiaran podría variar la representación espacial del proceso.
- Son **cartografías operacionales o dinámicas** en el mismo sentido en el que hoy se utiliza el concepto de normal climatológica. En un clima cambiante, la representación espacio-temporal no es previsible que permanezca estable por lo que será necesaria la actualización y evaluación de los cambios a nivel espacial.
- Pueden estar **condicionadas por el nivel de formación tecnológico o de análisis** de quien lleve a cabo la investigación.
- La propia leyenda de los mapas podría **mostrar distintos niveles escalares**, siendo ilustrativas y resumiendo los procesos genéticos responsables de las interrelaciones climáticas esenciales que caracterizan cada una de las unidades cartografiadas.
- Se podría **cartografiar la magnitud de similitud o diferencia** utilizada como criterio básico para regionalizar, lo que mostraría los gradientes de diferenciación intraclase, así como la intensidad en cada región.
- Las **medidas estadísticas** que acompañen a estos análisis deberían **cartografiarse**, igualmente, a fin de valorar los procesos espaciales que pueden variar significativamente entre zonas.
- **La representación de los centroides** podría representar el punto óptimo de cada una de las clases, por lo que podría ser utilizada como una primera aproximación en la mejora de la gestión de la red de observación cuidando las estaciones cercanas a estos puntos especialmente representativos.

- La posibilidad de **representar diferentes escalas climáticas** según los niveles que se establezcan en los procesos de agrupamiento.
- El estudio de la **autocorrelación espacial** y los métodos geoestadísticos para **validar las escalas climáticas** y espacializar las variables meteorológicas.

Las consideraciones anteriores tienen una estrecha relación y dependencia con otros dos aspectos que veremos a continuación: el problema de las fronteras espaciales y la influencia de la densidad y la distribución de la red de estaciones de medición climatológica en la que se basan estos procesos.

### 3.4.3. El problema de las fronteras espaciales

Los resultados espaciales de las regionalizaciones no tienen una correspondencia directa con los límites naturales, es decir, *no son regiones del medio físico*. Mientras que en las clasificaciones climáticas clásicas los límites se correspondían, en gran medida, con estas características, estos procedimientos no se corresponden, lo cual constituye una diferencia fundamental entre estas aproximaciones. Según Johnston “la identificación de los límites espaciales y las fronteras ha resultado de especial interés para los climatólogos. Gran parte de la literatura sobre las clasificaciones climáticas se centra más en los límites de los tipos climáticos que en la descripción del propio clima” (Johnston, 1968). Sin embargo, a pesar de esta afirmación, adecuada quizás para las grandes clasificaciones generales, no coincidimos con esta hipótesis pues tras la búsqueda de bibliografía sobre esta cuestión apenas hemos encontrado propuestas metodológicamente formalizadas.

En el mismo sentido expone McDonald, “Trazar límites mediante líneas y contornos, ya sean cartográficos o literarios, ha sido tradicionalmente una de las principales preocupaciones de la profesión del geógrafo. La evolución del método científico en geografía ha llevado a procedimientos más objetivos y presumiblemente más precisos a la hora de establecer fronteras, pero los objetivos siguen siendo los mismos. Tanto si el geógrafo está pensando de forma subjetiva u objetiva, como si está tratando con impresiones o estadísticas, sus preocupaciones son las mismas: determinar qué diferencias son significativas, qué cambios son críticos y cuándo la infinita variedad de factores dinámicos que influyen en un paisaje han influido lo suficiente como para transformarlo creando cambios apreciables a la escala en la que se está trabajando” (McDonald, 1966).

La *localización* de las fronteras en las regionalizaciones continúa siendo una cuestión crucial, aún sin resolver, dentro del campo de la geografía. Muchos elementos cambian de un lugar a otro de forma gradual y no abrupta, por lo que la ubicación de límites se



rige por criterios subjetivos. Steiner afirma que “esto es especialmente cierto en el caso de las regionalizaciones climáticas al ser los elementos climáticos variables continuas. (...) Si el clima se pudiese representar por una única medida, se podría calcular la *superficie* estadística que representaría el clima en *valles y montañas*, por lo que resultaría lógico localizar los límites entre regiones climáticas donde las pendientes fueran máximas. De igual forma las estaciones ubicadas en las zonas más llanas se agruparían juntas constituyendo las regiones de mayor homogeneidad” (Steiner, 1965).

Hay que tener presente que, incluso entre quienes reconocen que los sistemas regionales no se corresponden con una clasificación de entidades que existen en la naturaleza, todavía hay tendencia a olvidar que las líneas en un mapa rara vez son algo real y que cualquier clasificación o sistema regional no es más que una forma de contemplar el mundo. Los sistemas regionales establecidos tienden a ser considerados como la realidad en lugar de un simple medio para la representación de algunos de sus aspectos.

La trascendencia de la identificación de los límites espaciales de las tipologías o zonas climáticas va más allá del *trazado* físico territorial de estas fronteras pues, tal como plantea, Gregory “resulta crucial para entender los procesos físicos y dinámicos que rigen los fenómenos climáticos que se observan” (Gregory, 1975), es decir nos permiten identificar su escala. En este sentido enlazaríamos con el punto anterior, lo cual convierte el proceso de identificación en algo iterativo ya que si una escala inicial de análisis condiciona los métodos, datos y procedimientos, las fronteras resultantes vendrían a su vez condicionadas por la aproximación adoptada. Así mismo ponen de manifiesto la necesidad de cambiar de escala al desvelar otros límites espaciales. En cualquier caso, la nitidez de las fronteras entre unidades se *difumina* cuando aumenta la escala de análisis.

A medida que la geografía tiene una visión más objetiva del mundo, el reto de los estudios de regionalización es afinar en los procedimientos aumentando la precisión de sus análisis y ampliando la base de su evaluación crítica. Sólo entonces se lograría una diferenciación de unidades espaciales basadas en aspectos tales como su distribución espacial o los factores que influyen sobre ellas. Hasta ahora, la mayor parte de los procedimientos de regionalización han sido en gran medida *subjetivos*, con una contribución muy limitada al entendimiento de la dinámica que determina la diferenciación espacial. Sin embargo, únicamente el uso de métodos estadísticos de regionalización puede servir para establecer límites precisos a las unidades espaciales, lo que permite establecer hipótesis sobre las relaciones en las que se basa la construcción de las regiones y sobre la distribución espacial de las características del medio que se analiza (Zobler, 1958).

Podemos decir que los métodos de regionalización tienen tanto a nivel teórico como práctico, un objetivo claro: identificar ámbitos con patrones climáticos homogéneos tanto para la comprensión física de los mecanismos que afectan al clima como para la evaluación de la potencialidad climática y su posible utilización como recurso. Establecer metodologías para la delimitación de fronteras climáticas continúa siendo uno de los retos en los estudios de regionalización pero, además, se necesita innovación y rigor ya que la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, los sistemas de posicionamiento GPS, etc. exigen que estos límites sean precisos y se encuentren georeferenciados. Aunque estos métodos no tienen que establecer una correspondencia física *real*, deben responder y estar fundamentados en el conocimiento del clima y su territorio.

#### 3.4.4. Importancia de las redes de medición climática

Partimos de una realidad que aún sigue vigente: “La red de observación meteorológica mundial es una red muy antigua y diseñada con propósitos no por fuerza climáticos y, desde luego, no adaptados a las nuevas incógnitas y retos que plantea la Climatología actual. Ello determina que muchas de las variables hoy relevantes para la comprensión del funcionamiento del sistema climático (nubosidad, radiación solar, etc) apenas sean contempladas en dicha red. (...) Pero incluso las variables climatológicas más convencionales y con cobertura espacial más amplia como la temperatura y la precipitación, dejan extensos espacios sin cubrir y se nutren cada vez más de datos de reanálisis, los cuales son los únicos capaces de satisfacer las necesidades impuestas por el objetivo de la modelización del sistema climático en su conjunto” (Jeffrey et al, 2001 citado por (Pita López, 2007).

Esta reflexión nos alerta de una dificultad constatada: no se puede disponer de información climática espacial homogénea que responda a la variabilidad natural de los elementos climáticos. A esto se une el hecho de que en las zonas montañosas la red de observatorios es más deficitaria y dispersa que en espacios llanos, siendo muy pocas las estaciones localizadas en cotas altas. Por lo tanto, en las zonas de montaña la estimación resulta muy compleja y es precisamente allí donde la información climática reviste de un mayor interés, tanto desde el punto de vista científico como práctico, por los complejos procesos ecológicos que allí se desarrollan y por las muchas actividades que se realizan en estos ámbitos (Cuadrat Prats y Vicente Serrano, 2008).

La propia densidad espacial y la distribución de las estaciones meteorológicas condiciona los análisis y los límites estadístico-espaciales que se establecen al constituirse los grupos que están determinados por la existencia de estaciones. Steiner expone claramente que “la clasificación depende de la **distribución de los puntos de medición** de las estaciones meteorológicas. La distancia de agrupamiento de los

puntos en el espacio multidimensional está, con toda seguridad, influenciada por la propia distancia topográfica entre los puntos de la superficie terrestre. Puntos alejados tenderán, lógicamente, a presentar valores más diferentes que puntos cercanos” (Steiner, 1965). El autor plantea como solución construir mapas de isolíneas para todas las variables y seleccionar los datos de una red de puntos de medición regulares, lo que hoy constituyen los datos en *grid*.

Por otro lado, el mismo autor plantea que no sólo la distribución de las estaciones es una cuestión fundamental, sino también que el **número de puntos de medición** que se utilicen es otra cuestión relevante que depende de los objetivos de la clasificación, del nivel de detalle requerido y de que constituya una muestra representativa (*Op. Cit.*).

Si una zona no tiene estaciones de medición no podemos conocer su pertenencia a algún grupo o si constituye una unidad espacial en sí misma. Las líneas que inicialmente podríamos intuir, aunque no se precisen mediante los métodos objetivos de clasificación, vendrían *dibujadas* por la localización de las estaciones exteriores de cada uno de estos grupos. Por consiguiente, la estructura de la red tiene una repercusión directa sobre los métodos y la identificación de fronteras, de ahí que la distribución de la red existente debe ayudar a conocer con precisión las diferentes escalas de variabilidad de cada uno de los elementos climáticos, a nivel individual. Una clasificación climática general no permite garantizar la representatividad individual, por lo que optimizar una red básica de medición es una tarea difícil pero fundamental, en los momentos actuales en que la evaluación y el seguimiento de las variaciones climáticas tiene suma importancia tanto para el presente como para el futuro.

Por lo anteriormente expuesto, este tipo de estudios tienen una primera utilidad de carácter práctico, además de teórico ya que, tal como plantea Willmott, “la utilización de un esquema de regionalización eficiente puede **evitar redundancias en la adquisición de datos** de las redes de medición meteorológica”(Willmott, 1978). De ahí que en el futuro se deban optimizar las redes existentes, garantizando su calidad y continuidad; además, hay que acometer la instalación de nuevas redes de información climatológica adaptadas a nuevos problemas, y con diseños lo suficientemente elaborados como para proporcionar la máxima información con el mínimo número de puntos de información disponible. En este sentido, se han puesto en marcha algunas medidas estatales encaminadas a normalizar las observaciones de las diferentes entidades nacionales que gestionan redes de observación y de archivos de datos. En el año 2000 por Resolución de la Dirección de política Tecnológica del Ministerio de Ciencia y Tecnología (BOE de 15 de noviembre de 2000) se crea el Grupo de Trabajo AENOR responsable de la redacción de las normas que permitan la unificación de procedimientos de obtención, almacenamiento e intercambio de registros meteorológicos procedentes de las distintas redes españolas (AENOR 2002, 2003, 2004, 2005).

No obstante, ante la creciente preocupación por el cambio climático, estos datos son especialmente relevantes para la comunidad científica y para la sociedad en general, ya que las decisiones individuales, de las empresas y de los gobiernos dependen de los datos meteorológicos disponibles (Freebairn y Zillman, 2002). Hace años Peterson et ál. (1998) pusieron de manifiesto que las infraestructuras de datos climáticos son cada vez más importantes y valiosas para la formulación de políticas (Panagos *et al.*, 2015). Sin embargo, la degradación continua de los sistemas convencionales de observación en superficie de muchos países desarrollados o en vías de desarrollo, es un hecho preocupante para el mantenimiento de las capacidades presentes y futuras. La información de los satélites, por sí sola, no puede proporcionar todos los registros que son necesarios para el seguimiento, gestión y utilización del clima como recurso. Por otro lado, sólo las observaciones de superficie pueden asegurar que las simulaciones de los modelos sean evaluadas sobre la base de los cambios reales en el sistema climático y no sobre cálculos sujetos a cambios en la tecnología o en los métodos de análisis (Karl y Trenberth, 2003). Por consiguiente, la evaluación y el seguimiento de los cambios en el clima mediante regionalizaciones basadas en las redes de medición, tradicionales y actuales, permiten no sólo valorar las variaciones, sino también el efecto de los cambios en la red de medición meteorológica, dirigidos a garantizar el patrimonio de la información y su continuidad futura.

#### **3.4.5. Regionalizar es, a pesar de su aparente objetividad, un proceso subjetivo**

Una acertada consideración sobre el proceso de regionalizar fue expuesta por Johnston en un artículo que podría traducirse como *La elección en clasificación: la subjetividad de los métodos objetivos*, que tomamos para el enunciado de este epígrafe. Comenta este autor: "Clasificar es básicamente un proceso subjetivo a pesar de la aparente objetividad de los métodos que se emplean" (Johnston, 1968)<sup>2</sup>.

Cuando se inició el debate sobre las clasificaciones y regionalizaciones, el objetivo de los trabajos científicos era conseguir que los resultados fuesen *objetivos* y *repetibles*, quedando los procesos de clasificación libres de la subjetividad del autor (Spence y Taylor, 1970). En plena revolución cuantitativa muchos autores expresan abiertamente la satisfacción de haberlo logrado mediante el uso de nuevas técnicas multivariantes, y así Berry sostiene que ha diseñado "un método multifactorial para derivar regiones uniformes", concluyendo que proporciona *una solución exacta*" (Berry, 1961 citado por Johnston, 1968). Igualmente, Bunge considera que ha encontrado una técnica numérica que "por lo tanto, no sólo resuelve los problemas de carácter lógico de la

---

<sup>2</sup> Johnston, R. J. (1968). Choice in Classification: The Subjectivity of Objective Methods. *Annals of the Association of American Geographers*, 58(3): 575-589. La frase en cuestión es "Classification is thus basically a subjective process, despite the apparent objectivity of the methods employed" contenida en el resumen de dicho artículo.

clasificación y la regionalización, sino que también consigue superar los principales problemas prácticos de regionalizar a través de la informática. Por fin podemos replicar nuestras regiones” (Bunge, 1966, citado por Johnston). Steiner declara que “El tratamiento estadístico de estos procedimientos lleva a un análisis multivariado complejo, pero esto deja de ser un problema por la capacidad de los ordenadores y la existencia de programas estadísticos. Esta aproximación tiene la ventaja de que una vez introducidas las variables seleccionadas el proceso sigue un esquema lógico no sujeto a criterios subjetivos” (Steiner, 1965).

Sin embargo, a partir del momento en que comienzan a realizarse este tipo de estudios se constata que “hay variaciones en el método básico de clasificación que plantean la cuestión de si todos ellos producen resultados similares” (Johnston, 1968). Este autor es muy crítico en sus argumentaciones: “La clasificación es un proceso subjetivo a pesar de que la metodología emplea técnicas numéricas basadas en criterios objetivos: la naturaleza de los datos que deben recogerse, la forma del análisis y los parámetros exactos que deben utilizarse, todas estas decisiones subjetivas en las que con frecuencia se realizan, ya sea en la experiencia pasada o por algún conocimiento preconcebido sobre el tipo de fenómenos estudiado. Hasta cierto punto el investigador puede hacer que sus datos muestren lo que quiera o que sus resultados sean fortuitos (...). Los principales problemas prácticos de los procedimientos de clasificación y regionalización aún no están resueltos. Tanto los geógrafos como otros científicos tienen que tomar muchas decisiones en el proceso de regionalización y en las técnicas que se emplean” (Johnston, 1968). Poco a poco, se va aceptando que aunque la aplicación de los métodos multivariantes *objetivos* de clasificación presenta muchas posibilidades metodológicas, que continúan aumentando y enriqueciendo las técnicas de clasificación, también corroboran la afirmación, ya citada de Johnston: *la subjetividad de los métodos objetivos*.

Además, no hay que olvidar que en climatología se analiza una realidad cambiante y, como apunta Grigg (1965), “parece una aceptación general que la clasificación de cualquier universo de objetos debería cambiar a medida que el conocimiento acerca de estos objetos se hace más completo. A medida que una ciencia avanza, los supuestos en los que se basan las clasificaciones establecidas se convierten en objeto de críticas y la necesidad de cambio se hace evidente. Esto plantea un problema considerable (...) debe existir un cierto compromiso entre estabilidad y cambio. El gran peligro es que un sistema se consagre y no sea criticado por pura inercia. Kellogg ha escrito que: “ningún sistema de clasificación debe ser tan sagrado o clásico que el sistema se convierta en un fin en sí mismo”.

Por esta razón, carece de sentido debatir acerca de si un sistema es mejor que otro desde el momento en que cada procedimiento de regionalización, o clasificación, tiene sus objetivos y se ajustan a criterios diferentes por lo que resulta prácticamente

imposible la comparación entre ellos, en este sentido carecen de *universalidad*. Además, no se les puede presuponer *estabilidad* al estar sujeto tanto a variaciones por cambios en el territorio como en las propias metodologías aplicadas (Olcina Cantos, 1996). Si atendemos al tercero de los principios de regionalización que enuncia Grigg en 1965 estos métodos no son absolutos, deben cambiar a medida que aparece nueva información disponible. En esta misma línea se pronuncia Jevons (1887) cuando reconoce que “cualquier clasificación que se proponga en los primeros estadios de una disciplina acabará en cuanto se encuentren similitudes más profundas entre los elementos”. Además añade, *sería esperar demasiado que un sistema pudiera servir para cualquier propósito*.

Por todo ello, Jonhston anima a leer más sobre esta temática y en la última nota de su trabajo recomienda lecturas de otras disciplinas como la psicología, la economía o la ecología, sugiriendo que el intercambio de experiencias es necesario para la investigación en geografía. Quienes apliquen estos procedimientos deben tener especial cuidado antes de emplearlos y ser responsables de especificar los motivos de su elección (Johnston, 1968).

Curiosamente, estas advertencias sobre las regionalizaciones continúan siendo frecuentes en artículos climáticos recientes como en la regionalización climática de Borneo (Dambul y Jones, 2008) o de Arabia Saudí (Almazroui *et al.*, 2014). Los autores reiteran que los resultados difieren según las opciones que se adopten referidas a las variables, los métodos, las series de datos y el período de los datos utilizados. Por lo tanto, una vez más advierten que es difícil comparar los resultados de los diferentes métodos de clasificación aplicados. No obstante, como sugirieron estos autores, se pueden hacer comparaciones sobre la base en la que la regionalización ha sido formulada lo cual permite la evaluación de la similitud entre enfoques diferentes.

Ciertamente, los criterios que se elijan para determinar las clases suponen ya una elección que, aunque esté metodológicamente justificada, no implica que sea la única y demuestra que ningún proceso de clasificación es absolutamente objetivo. En este sentido, tiene vigencia la afirmación de que “sigue existiendo una necesidad de estudios comparados que apliquen diferentes técnicas (...). Idealmente, deberíamos trabajar hacia una situación en la que quedaran identificados unos problemas taxonómicos y se identificaran, igualmente, los procedimientos o sub-procedimientos más adecuados para cada uno de ellos. De esta forma para un mismo problema, los taxónomos podrían seleccionar el procedimiento adecuado y llegar a la misma solución” (Spence y Taylor, 1970).

### 3.5. Conclusiones sobre las regionalizaciones climáticas.

En Climatología los métodos de regionalización han sido usados ampliamente para determinar los patrones principales de variación que presentan los elementos climáticos. A partir de procedimientos multivariantes diversos se determinan zonas homogéneas que reflejan modos o regímenes de variabilidad diferentes, que se asocian con regiones geográficas.

- a) Las regionalizaciones son clasificaciones espaciales en el sentido de que utilizan técnicas estadísticas de este tipo para su obtención, pero no constituyen un sistema de clasificación climático. Las regionalizaciones no pueden construir un sistema taxonómico de tipologías relacionadas que puedan aplicarse a otras regiones. Por lo tanto, no pretenden establecer comparaciones directas entre regiones geográficas distintas.
- b) Las regiones delimitadas representan zonas homogéneas en cuanto a su variabilidad, pero no se asocian a regímenes sinópticos.
- c) Las regionalizaciones son una construcción intelectual ya que, aunque basadas en métodos objetivos, la interpretación y número de zonas los determina el investigador. Los métodos de regionalización están basados en metodologías muy diferentes y dependen de los criterios y procedimientos seleccionados, por lo que tienen una cierta componente subjetiva.
- d) Los resultados están muy condicionados por los datos de entrada y su densidad función del periodo de tiempo analizado, la escala temporal de los datos, por lo que las regionalizaciones no pueden ser tomadas como propuestas objetivas y *definitivas*.
- e) Existe una difícil distinción en castellano entre el significado de regionalización aplicado a la clasificación espacial y los procedimientos de *downscaling* en modelización.
- f) La delimitación de las fronteras de las regiones que se delimitan es sin duda una de las cuestiones más difíciles y menos ha sido tratada. Sin duda debe constituir una de las vías de investigación en este tipo de estudios.
- g) Directamente relacionado con la cuestión anterior está la plasmación de las regionalizaciones en productos cartográficos con la precisión que requiere la georeferenciación espacial

- h) La escala mesoclimática es la más adecuada para las regionalizaciones climáticas. La aplicación de los métodos generales de clasificación climática sólo pueden delimitar las regiones macroclimáticas a escala de países o continentes. Para completar la descripción climatológica es necesario especificar, con más o menos detalle, los rasgos característicos mesoclimáticos de las diferentes partes de cada uno de los macroclimas y señalar los factores que crean dichas variaciones. Las regionalizaciones permiten la caracterización a estas escalas. En el caso de las características microclimáticas, su estudio pertenece a la climatología aplicada y ligada a la investigación de campo o similar.
- i) Mientras las clasificaciones climáticas clásicas se revitalizan en el contexto de cambio climático buscando fundamentalmente los cambios en las fronteras espaciales para evaluar sus impactos sobre las variables del medio. Por el contrario, a pesar de ser de enorme utilidad para la evaluación y seguimiento del cambio climático a las escalas donde los estudios son más necesarios, este tipo de trabajos no ha conseguido *remontar* y encontrar un campo fructífero en la ciencia.
- j) La climatología geográfica, a pesar de la clara vocación espacial y las nuevas posibilidades que hoy se ofrecen parece haber perdido el interés, siendo muy escasos los estudios realizados desde la geografía. Las razones pueden abrir un interesante debate en el seno de la disciplina.

Finalmente destacar que las regionalizaciones tienen una finalidad eminentemente aplicada, como demuestra las diversas disciplinas que los utilizan, especialmente desde el campo de la hidrología y la ecología.

Dentro de las ciencias atmosféricas y la climatología los objetivos que se persiguen son muy diversos y van desde establecer divisiones climáticas, detección y seguimiento del cambio climático, análisis de la representatividad de las redes de medición, modelización de variables hidrológicas o climáticas, describir las tendencias y patrones de variación dentro de cada *región* entre otras.

La delimitación de regiones puede definir unidades con un comportamiento uniforme de análisis en la evaluación y gestión ambiental, lo que permite modelizar del comportamiento de las variables y ser utilizado para la predicción en la gestión.

Por su utilidad actual las regionalizaciones climáticas deberían retomar protagonismo, espacialmente desde la climatología geográfica, superando las dificultades metodológicas y avanzando en el descubrimiento de nuevos caminos y retos para la investigación, sirviendo además, como es tradición en la geografía a la sociedad, a la gestión medioambiental y a la comprensión de los procesos físicos y su interacción con las actividades del hombre.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABATZOGLU, J. T., REDMOND, K. T. & EDWARDS, L. M. 2009. Classification of Regional Climate Variability in the State of California. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 1527-1541.
- AHMED, B. Y. M. 1997. Climatic classification of Saudi Arabia: An application of factor cluster analysis. *GeoJournal*, 41, 69-84.
- ALMAZROUI, M., DAMBUL, R., ISLAM, M. N. & JONES, P. D. 2014. Principal components-based regionalization of the Saudi Arabian climate. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a.
- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- ASPINALL, R. 2010. A century of Physical Geography research in the Annals. *Annals of the Association of American Geographers*, 100, 1049-1059.
- BAEDE, A. P. M. 2007. Anexo I. Glosario. En: IPCC (ed.) *IPCC Fourth Assessment Report (AR4)*. IPCC.
- BAKER, B., DIAZ, H., HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2010. Use of the Köppen–Trewartha climate classification to evaluate climatic refugia in statistically derived ecoregions for the People’s Republic of China. *Climatic Change*, 98, 113-131.
- BALLING, R. C. J. 1984. Classification in Climatology. En: GAILE, G. & WILLMOTT, C. (eds.) *Spatial Statistics and Models*. Springer Netherlands, 81-108.
- BERTANI, L. 2003. Aproximaciones al debate positivismo-historicismo: consideraciones acerca de la geografía física. *Boletín Geográfico*, pág. 61-84.
- BOSQUE SENDRA, J., RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, V. & SANTOS PRECIADO, J. M. 1983. La geografía cuantitativa en la universidad y la investigación española. *Geocrítica. Cuadernos críticos de Geografía Humana*, Año VIII.
- BRADSHAW, R. P. El futuro de la Geografía Cuantitativa. En: (AGE), G. D. M. C., ed. *Geografía teórica y cuantitativa: concepto y métodos*, 1983 Oviedo. Asociación de Geógrafos Españoles.
- BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A. 1998. *Principles of Geographic Information Systems*, London, Oxford University Press.
- BURTON, I. 1972. The quantitative revolution and theoretical geography. En: DAVIES, W. K. D. (ed.) *Conceptual revolution in geography*. Londres, University of London Press Ltd, 140-156.
- BURTON, I. & KATES, R. W. 1964. The perception of natural hazards in resource management. *Nat. Resources J.*, 3, 412-441.
- CAPEL SÁEZ, H. 1981. *Filosofía y Ciencia en la Geografía contemporánea*, Barcelona, Barcanova.
- CAPEL SÁEZ, H. 2005. Las TIGs en los concursos de habilitación para profesores titulares de geografía humana: una cuestión nada anecdótica. *Biblio 3W GeoCrítica*.
- CAPEL SÁEZ, H. 1973. Percepción del medio y comportamiento geográfico. *Revista de geografía (en línea)* [Online], 7. Disponible:

- <http://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/45873> [Acceso 4 de mayo 2015].
- CAPEL SÁEZ, H. 1983. Positivismo y antipositivismo en la ciencia geográfica: el ejemplo de la geomorfología. VIII. [Acceso 12 de abril de 2015].
- CARLETON, A. M. 1999. Methodology in climatology. *Annals of the Association of American Geographers*, 89, 713-735.
- CASTREE, N. 2012. Progressing physical geography. *Progress in Physical Geography*, 36, 298-304.
- CONTRERAS ARIAS, A. 1942. The classification of climates. *Monthly Weather Review*, 70, 249-253.
- CREUS NOVAU, J. 1975. Los estudios climáticos desde el campo de la geografía.
- CROSBIE, R., POLLOCK, D., MPELASOKA, F., BARRON, O., CHARLES, S. & DONN, M. 2012. Changes in Köppen-Geiger climate types under a future climate for Australia: hydrological implications. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 3341-3349.
- CUADRAT PRATS, J. M. & PÉREZ-CUEVA, A. 2007. Climatología regional. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 157-162.
- CUADRAT PRATS, J. M. & VICENTE SERRANO, S. M. 2008. Características espaciales del clima en La Rioja modelizadas a partir de sistemas de información geográfica y técnicas de regresión espacial. *Zubía*, 119-141.
- CHEN, D. & CHEN, H. W. 2013. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, 6, 69-79.
- CHORLEY, R. J. & HAGGETT, P. 1970. *Frontiers in geographical teaching*, London, Methuen
- DAMBUL, R. & JONES, P. 2008. Regional and temporal climatic classification for Borneo. *Geografía*, 5, 1-25.
- DAS, R. 2014. Modern trends of mathematical application in geographical thoughts and its environment–increasing relevance in geo-scientific study. *International Journal of Science and Research*, 3, 903-908.
- DAVIES, W. K. D. 1972. *Conceptual revolution in geography*, Londres, University of London Press Ltd, 416.
- DE CASTRO, M., GALLARDO, C., JYLHA, K. & TUOMENVIRTA, H. 2007. The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models. *Climatic Change*, 81, 329-341.
- DE SÁ JÚNIOR, A., DE CARVALHO, L., DA SILVA, F. & DE CARVALHO ALVES, M. 2012. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 1-7.
- DIAZ, H. F. & EISCHEID, J. K. 2007. Disappearing “alpine tundra” Köppen climatic type in the western United States. *Geophysical Research Letters*, 34.
- DIKSHIT, R. D. 2006. *Geographical thought: a contextual history of ideas*, Prentice-Hall of India.
- DUMOLARD, P. 1975. Région et régionalisation. Une approche systémique. *Espace géographique*, 93-111.
- DUQUE, J. C., RAMOS, R. & SURIÑACH, J. 2007. Supervised regionalization methods: A survey. *International Regional Science Review*, 30, 195-220.

- ENGELBRECHT, C. & ENGELBRECHT, F. 2015. Shifts in Köppen-Geiger climate zones over southern Africa in relation to key global temperature goals. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-15.
- FEDDEMA, J. J. 2005. A revised Thornthwaite-type global climate classification. *Physical Geography*, 26, 442-466.
- FENG, S., HO, C.-H., HU, Q., OGLESBY, R., JEONG, S.-J. & KIM, B.-M. 2012. Evaluating observed and projected future climate changes for the Arctic using the Köppen-Trewartha climate classification. *Climate Dynamics*, 38, 1359-1373.
- FERNÁNDEZ MILLS, G. 1995. Principal component analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 50, 169-183.
- FERNÁNDEZ MILLS, G., LANA, X. & SERRA, C. 1994. Catalanian precipitation patterns: Principal component analysis and automated regionalization. *Theoretical and Applied Climatology*, 49, 201-212.
- FRAEDRICH, K., GERSTENGARBE, F. W. & WERNER, P. C. 2001. Climate shifts during the last century. *Climatic Change*, 50, 405-417.
- FREEBAIRN, J. W. & ZILLMAN, J. W. 2002. Economic benefits of meteorological services. *Meteorological Applications*, 9, 33-44.
- GALÁN GALLEGO, E. 1997. Técnicas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica en la Climatología española: estado de la cuestión y ejemplos de aplicación. *Lurralde inves. esp.*, 20, 135-168
- GALÁN GALLEGO, E. & FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Propuesta de una regionalización pluviométrica de la Meseta meridional. Actas del IV Coloquio de Geografía Cuantitativa, 1990 Palma de Mallorca, AGE y UIB.
- GALLARDO, C., GIL, V., HAGEL, E., TEJEDA, C. & DE CASTRO, M. 2013. Assessment of climate change in Europe from an ensemble of regional climate models by the use of Köppen-Trewartha classification. *International Journal of Climatology*, 33, 2157-2166.
- GAO, X. & GIORGI, F. 2008. Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. *Global and Planetary Change*, 62, 195-209.
- GENG, Q., WU, P., ZHAO, X. & WANG, Y. 2014. Comparison of classification methods for the divisions of wet/dry climate regions in Northwest China. *International Journal of Climatology*, 34, 2163-2174.
- GERSTENGARBE, F. W. & WERNER, P. C. 2009. A short update on Koeppen climate shifts in Europe between 1901 and 2003. *Climatic Change*, 92, 99-107.
- GERSTENGARBE, F. W., WERNER, P. C. & FRAEDRICH, K. 1999. Applying Non-Hierarchical Cluster Analysis Algorithms to Climate Classification: Some Problems and their Solution. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 143-150.
- GIL OLCINA, A. 2007. Prólogo En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 7-12.
- GILMOUR, J. S. & WALTERS, S. M. 1964. Philosophy and classification. *Vistas in botany*, 4.
- GIORGI, F. 2008. Regionalization of climate change information for impact assessment and adaptation. *Bulletin of the World Meteorological Organization*, 57, 86-92.

- GÓMEZ MENDOZA, J., MUÑOZ JIMÉNEZ, J. & ORTEGA CANTERO, N. 1982. *El pensamiento geográfico. Estudio interpretativo y antología de textos.(De Humboldt a las tendencias radicales)*, Madrid, Alianza.
- GOTTSCHALK, L. 1985. Hydrological regionalization of Sweden. *Hydrological Sciences Journal*, 30, 65-83.
- GREGORY, K. J., GURNELL, A. M. & PETTS, G. E. 2002. Restructuring physical geography. *Transactions of the institute of british geographers*, 27, 136-154.
- GREGORY, S. 1976. On geographical myths and statistical fables. *Transactions of the institute of british geographers*, 1, 385-400.
- GREGORY, S. 1975. On the delimitation of regional patterns of recent climatic fluctuations. *Weather*, 30, 276-287.
- GRIGG, D. 1965. The Logic of Regional Systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 55, 465-491.
- GRUNDSTEIN, A. 2008. Assessing climate change in the contiguous United States using a modified Thornthwaite climate classification scheme. *The Professional Geographer*, 60, 398-412.
- HADDAD, K., JOHNSON, F., RAHMAN, A., GREEN, J. & KUCZERA, G. 2015. Comparing three methods to form regions for design rainfall statistics: two case studies in Australia. *Journal of Hydrology*.
- HANF, F., KÖRPER, J., SPANGHEHL, T. & CUBASCH, U. 2012. Shifts of climate zones in multi-model climate change experiments using the Köppen climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 111-123.
- HEY, T., TANSLEY, S. & TOLLE, K. 2009. *The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery*, Redmond Washington, Microsoft Research
- HEYMANN, M. 2010. The evolution of climate ideas and knowledge. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1, 581-597.
- HULME, M. 2008. Geographical work at the boundaries of climate change. *Transactions of the institute of british geographers*, 33, 5-11.
- HULME, M., DESSAI, S., LORENZONI, I. & NELSON, D. R. 2009. Unstable climates: Exploring the statistical and social constructions of 'normal' climate. *Geoforum*, 40, 197-206.
- ILORME, F. & GRIFFIS, V. W. 2013. A novel procedure for delineation of hydrologically homogeneous regions and the classification of ungauged sites for design flood estimation. *Journal of Hydrology*, 492, 151-162.
- ISIK, S. & SINGH, V. 2008. Hydrologic Regionalization of Watersheds in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13, 824-834.
- JAGANNATHAN, P., ARLERY, R., TEN KATE, H. & M, Z. 1967. Nota sobre normales climatológicas. En: MUNDIAL, O. M. (ed.) *Nota Técnica*. Ginebra, Organización Meteorológica Mundial.
- JOHNSTON, R. J. 1968. Choice in Classification: The Subjectivity of Objective Methods. *Annals of the Association of American Geographers*, 58, 575-589.
- JOHNSTON, R. J. 1970. Grouping and Regionalizing: Some Methodological and Technical Observations. *Economic Geography*, 46, 293-305.
- JONES, S. B. 1950. What does geography need from climatology? *The Professional Geographer*, 2, 41-44.
- KARL, T. R. & TRENBERTH, K. E. 2003. Modern global climate change. *science*, 302, 1719-1723.

- KEYLOCK, C. J. 2003. Mark Melton's geomorphology and geography's quantitative revolution. *Transactions of the institute of british geographers*, 28, 142-157.
- KEYLOCK, C. J. & DORLING, D. 2004. What kind of quantitative methods for what kind of geography? *Area*, 36, 358-366.
- KHLEBNIKOVA, E. I. *Methods of Climate Classification* [Online]. Paris: Eolss Publishers [<http://www.eolss.net>]. Disponible: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c01/E4-03-05-01.pdf> [Acceso 12 de abril 2015].
- KITCHIN, R. 2013. Big data and human geography: Opportunities, challenges and risks. *Dialogues in Human Geography*, 3, 262-267.
- KITCHIN, R. 2014. *Big Data, new epistemologies and paradigm shifts*.
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B. & RUBEL, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263.
- KUPFER, J. A., GAO, P. & GUO, D. 2012. Regionalization of forest pattern metrics for the continental United States using contiguity constrained clustering and partitioning. *Ecological Informatics*, 9, 11-18.
- LEIGHLY, J. 1949. Climatology since the year 1800. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 30, 658-672.
- LEIGHLY, J. 1955. What has happened to physical geography? *Annals of the Association of American Geographers*, 45, 309-317.
- LIMA, C. H. R. & LALL, U. 2010. Spatial scaling in a changing climate: A hierarchical bayesian model for non-stationary multi-site annual maximum and monthly streamflow. *Journal of Hydrology*, 383, 307-318.
- LOVELAND, T. R. & MERCHANT, J. M. 2004. Ecoregions and Ecoregionalization: Geographical and Ecological Perspectives. *Environmental Management*, 34, S1-S13.
- MAHONY, M. 2013. Boundary spaces: Science, politics and the epistemic geographies of climate change in Copenhagen, 2009. *Geoforum*, 49, 29-39.
- MALMSTRÖM, V. H. 1969. A new approach to the classification of climate. *Journal of Geography*, 68, 351-357.
- MARTIN DE AGAR, P., DE PABLO, C. & PINEDA, F. 1995. Mapping the ecological structure of a territory: a case study in Madrid (central Spain). *Environmental Management*, 19, 345-357.
- MARTÍN VIDE, F. J. La Geografía cuantitativa española en el fin del milenio: Referentes, realidades y perspectivas. En: JUSTICIA, A. C., ed. *Perfiles actuales de la Geografía Cuantitativa en España*, 1994 Málaga. Grupo de Métodos Cuantitativos de la Asociación de Geógrafos Españoles.
- MATHER, J. R., FIELD, R. T., KALKSTEIN, L. S. & WILLMOTT, C. J. 1980. Climatology: The challenge for the eighties. *The Professional Geographer*, 32, 285-292.
- MATTSON, K. 1978. Una introducción a la geografía radical. *Geocrítica. Cuadernos críticos de Geografía Humana* [Online], III. Disponible: <http://www.ub.edu/geocrit/geo13.htm#1>.
- MCBOYLE, G. R. 1971. Climatic classification of Australia by computer. *Australian Geographical Studies*, 9, 1-14.
- MCDONALD, J. R. 1966. The Region: Its conception, design, and limitations. *Annals of the Association of American Geographers*, 56, 516-528.

- MONSERUD, R. A. & LEEMANS, R. 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*, 62, 275-293.
- MONTES, C., BORJA, F., BRAVO, M. A. & MOREIRA, J. M. 1998. *Doñana: Una Aproximación Ecosistémica* [Online]. Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/clasificacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/clasificacion.pdf) [Acceso 5 de julio 2015].
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- NAIMAN, R. J., LONZARICH, D. G., BEECHIE, T. J. & RALPH, S. C. 1992. General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers. En: BOON, P. J. & RAVEN, P. J. (eds.) *River conservation and management*. John Wiley & Sons, 93-123.
- OFFEN, K. 2014. Historical geography III: Climate matters. *Progress in Human Geography*, 38, 476-489.
- OLCINA CANTOS, J. 1996. El clima: factor de diferenciación espacial. Divisiones regionales del mundo desde la antigüedad al S. XVIII. *Investigaciones geográficas*, 15, 79-98.
- OLIVER, J. E. 2006a. Climate classification. En: OLIVER, J. E. (ed.) *Encyclopedia of World Climatology*. Springer Netherlands, 218-227.
- OLIVER, J. E. 2006b. *Encyclopedia of World Climatology*, Berlin, Springer Netherlands.
- ORTEGA VALCÁRCEL, J. 2000. Los horizontes de la geografía: teoría de la geografía. *Barcelona: Ariel*.
- PAGNEY, P. 1982. *Introducción a la Climatología*, Barcelona, Oikos-Tau.
- PANAGOS, P., BALLABIO, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., KLIK, A., ROUSSEVA, S., TADIĆ, M. P., MICHAELIDES, S., HRABALÍKOVÁ, M., OLSEN, P., AALTO, J., LAKATOS, M., RYMSZEWICZ, A., DUMITRESCU, A., BEGUERÍA, S. & ALEWELL, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment*, 511, 801-814.
- PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L. & MCMAHON, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 4, 439 - 473.
- PERIAGO, M. C., LANA, X., SERRA, C. & FERNÁNDEZ MILLS, G. 1991. Precipitation regionalization: an application using a meteorological network in Catalonia (NE Spain). *International Journal of Climatology*, 11, 529-543.
- PERRY, A. H. 1995. New climatologists for a new climatology. *Progress in Physical Geography*, 19, 280-285.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2007. Horizontes y retos de la ciencia climática. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 553-560.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2006. La climatología como ciencia geográfica. En: CUADRAT PRATS, J. M. & PITA LÓPEZ, M. F. (eds.) *Climatología*. Madrid, Cátedra, 9-17.
- PITA LÓPEZ, M. F. 1984. La preocupación medioambiental y su incidencia en el desarrollo de la climatología. En: MOPU (ed.) *Geografía y medio ambiente*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 45-70.

- RAHIMI, J., EBRAHIMPOUR, M. & KHALILI, A. 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 112, 409-418.
- RASILLA ALVAREZ, D. F. 1994. Los regímenes de precipitación en el norte de la Península Ibérica. *Estudios Geográficos*, 55, 151-181.
- RHOADS, B. L. 2004. Whither Physical Geography? *Annals of the Association of American Geographers*, 94, 748-755.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A. H., NIETO, S. & GARMENDIA, J. 1998. Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18, 299-316.
- ROHLI, R. V. & VEGA, A. J. 2013. *Climatology*, Jones & Bartlett Publishers.
- ROMERO, R. & RAMIS, C. 1999. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: An objective classification. *International Journal of Climatology*, 18, 1031-1047.
- RUBEL, F. & KOTTEK, M. 2010. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19, 135-141.
- SÁNCHEZ SANTILLÁN, N. & GARDUNO, R. 2008. Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. *ContactoS*, 68, 5-10.
- SANTOS, M. 2000. *La naturaleza del espacio. Técnica y Tiempo. Razón y Emoción.*, Barcelona, Ariel.
- SAXON, E., BAKER, B., HARGROVE, W., HOFFMAN, F. & ZGANJAR, C. 2005. Mapping environments at risk under different global climate change scenarios. *Ecology Letters*, 8, 53-60.
- SEWELL, W. R. D., KATES, R. W. & PHILLIPS, L. E. 1968. Human response to weather and climate: geographical contributions. *Geographical Review*, 58, 262-280.
- SHAOHONG, W., QINYE, Y. & DU, Z. 2003. Delineation of eco-geographic regional system of China. *Journal of Geographical Sciences*, 13, 309-315.
- SHEPPARD, E. 2001. Quantitative geography: representations, practices, and possibilities. *Environment and Planning D*, 19, 535-554.
- SIMON, A. L. 1992. The problem of pattern and scale in Ecology: The Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 73, 1943-1967.
- SKAGGS, R. H. 2004. Climatology in American Geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 94, 446-457.
- SOKAL, R. R. & SNEATH, P. H. 1963. *Principles of numeric taxonomy*, San Francisco, W.H. Freeman.
- SPENCE, N. A. & TAYLOR, P. J. 1970. Quantitative methods in regional taxonomy. *Progress in Geography*. 1-64.
- SPINONI, J., VOGT, J., NAUMANN, G., CARRAO, H. & BARBOSA, P. 2014. Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the Köppen–Geiger classification and FAO aridity index. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a.
- STALLINS, T. 2015. *Biogeography and conservation* [Online]. KENTUCKY: UNIVERSITY OF KENTUCKY. Disponible: <http://www.uky.edu/~jast239/courses/biogeo/bioschedule.html> [Acceso 3 de julio 2015].



- STEINER, D. 1965. Multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification. *Tijdschrift van het Aardrijkskundig Genootschap*, 329-347.
- TADAKI, M., SALMOND, J. & LE HERON, R. 2014. Applied climatology: Doing the relational work of climate. *Progress in Physical Geography*, 0309133313517625.
- TADAKI, M., SALMOND, J., LE HERON, R. & BRIERLEY, G. 2012. Nature, culture, and the work of physical geography. *Transactions of the institute of british geographers*, 37, 547-562.
- TERJUNG, W. H. 1976. Climatology for geographers. *Annals of the Association of American Geographers*, 66, 199-222.
- TREWARTHA, G. & HORN, L. 1980. Köppen's classification of climates. *An Introduction to climate*. New York, McGraw-Hill.
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante.
- TRICART, J. 1979. L'analyse de système et l'étude intégrée du milieu naturel. *Annales de Géographie*, 705-714.
- TURNER, M. G., GARDNER, R. H. & O'NEILL, R. V. 2001. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*, Springer Science & Business Media.
- UNWIN, T. 1992. *El lugar de la Geografía* Madrid, Cátedra.
- UZAIR QAMAR, M. 2015. *Parametric and non-parametric approaches for runoff and rainfall regionalization*. Engineering for Natural and Built Environment, Politecnico di Torino.
- VAN VLIET, M. T. H., FRANSSSEN, W. H. P., YEARSLEY, J. R., LUDWIG, F., HADDELAND, I., LETTENMAIER, D. P. & KABAT, P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*, 23, 450-464.
- WANG, M. & OVERLAND, J. 2004. Detecting arctic climate change using Köppen climate classification. *Climatic Change*, 67, 43-62.
- WILLIAMS, L. 1961. Climatology and geographers. *The Professional Geographer*, 13, 11-15.
- WILLMOTT, C. J. 1978. P-mode principal components analysis, grouping and precipitation regions in California. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 26, 277-295.
- WRCC. *California Climate Tracker* [Online]. Western Regional Climate Center. Disponible: <http://www.wrcc.dri.edu/monitor/cal-mon/> [Acceso 6 de junio 2015].
- YOSHINO, M. M. 1975. *Climate in a small area. An introduction to local meteorology*, Tokyo, University of Tokyo Press, 549.
- ZHANG, X. & YAN, X. 2014a. Spatiotemporal change in geographical distribution of global climate types in the context of climate warming. *Climate Dynamics*, 43, 595-605.
- ZHANG, X. & YAN, X. 2014b. Temporal change of climate zones in China in the context of climate warming. *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 167-175.
- ZOBLER, L. 1958. Decision Making in Regional Construction. *Annals of the Association of American Geographers*, 48, 140-148.
- ZSCHEISCHLER, J., MAHECHA, M. D. & HARMELING, S. 2012. Climate classifications: the value of unsupervised clustering. *Procedia Computer Science*, 9, 897-906.





# CAPÍTULO 4

## MÉTODOS DE REGIONALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

### **4.1. Introducción a los métodos de regionalización en climatología**

#### **4.1.1. Técnicas multivariantes**

##### **4.1.1.1. Análisis de conglomerados**

##### **4.1.1.2. El Análisis de Componentes Principales**

##### **4.1.1.3. Regionalizaciones en múltiples pasos**

#### **4.1.2. Consideraciones sobre las técnicas de regionalización pluviométricas**

#### **4.1.3. Nuevas aproximaciones**

##### **4.1.3.1. Análisis de conglomerados temporal**

##### **4.1.3.2. Análisis de componentes principales y conglomerados espacial**

##### **4.1.3.3. Inteligencia artificial y aprendizaje de máquinas**

### **4.2. Estado de la cuestión sobre los estudios de regionalización en España**

#### **4.2.1. Regionalizaciones objetivas**

#### **4.2.2. Regionalizaciones pluviométricas en Andalucía**

##### **4.2.2.1. Aportaciones realizadas por organismos públicos**

##### **4.2.2.2. Regionalizaciones en el ámbito académico**

### **4.3. Consideraciones finales**

#### 4.1. Introducción a los métodos de regionalización en climatología

La regionalización se enmarca dentro de los métodos de clasificación en los que se asume que existen grupos de fenómenos u objetos con una dimensión espacial que pueden ser tratados como una unidad a fin de establecer generalizaciones sobre su comportamiento y características. Es evidente que existen muchos tipos de regionalizaciones dependiendo de los objetivos que se persigan y que logren obtener resultados válidos para la investigación.

La motivación básica de las regionalizaciones es conseguir desentrañar la variabilidad natural del clima que resulta de la influencia de muchos factores que además actúan a diferentes escalas. Sabemos que las características climáticas de una zona vienen determinadas por dos tipos de procesos: la circulación a gran escala, que afectan a la secuencia de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el clima de una región, y los forzamientos, desde regionales a locales, que a su vez modulan también la señal climática a gran escala. Entre este segundo tipo podríamos mencionar la existencia de una topografía compleja, de océanos, costas o los diferentes usos del suelo presentes en una región. La complejidad aumenta a medida que la escala espacial *disminuye* aumenta la escala de variabilidad natural del clima haciendo que sea cada vez más difícil la delimitación y diferenciación de zonas homogéneas.

La Climatología, antes rama de la Geografía, ha realizado diversas caracterizaciones climáticas tanto a nivel mundial como regional, a partir del agrupamiento sistemático de los elementos del clima en clases según sus relaciones comunes; si bien todas las clasificaciones emplean diversos parámetros la dificultad reside en establecer criterios generales que resulten representativos. Evaluar las condiciones y los fenómenos climáticos supone tener en cuenta numerosos elementos y factores, que a su vez están interrelacionados (Pardo González-Nadín, 1993). Todas las consideraciones relacionadas con la elección de las características y procedimientos condicionan en las clasificaciones del clima resultantes así como la descripción posterior de la climatología de un lugar.

Esta complejidad inherente a estos procedimientos determina que la regionalización se considere como un medio hacia un fin y no un fin en sí mismo por diversas razones. En primer lugar, los métodos y técnicas que se emplean ya introducen cambios dentro del concepto del término clasificar y sobre la naturaleza de las clasificaciones. Tradicionalmente desde el campo de la climatología éstas se dividían en:

- **Clasificaciones genéticas** que provienen de las ciencias atmosféricas asociadas de forma general a las clasificaciones basadas en los factores de control que determinan los diferentes climas, también denominados *procedimientos subjetivos* que a su vez que diferencian según estén o no condicionados por las condiciones locales, como es el caso de las precipitación (von Storch y Navarra,

1999). Los métodos subjetivos se basan en rasgos que se identifican y localizan a gran escala, a patrones de distribución de los elementos a clasificar.

- **Clasificaciones empíricas u objetivas** que utilizan técnicas estadísticas multivariantes aplicadas sobre basadas las características observables de clima, sobre los elementos climáticos. Dentro de este tipo de clasificaciones se encuentran los estudios de divisiones y regionalización climática.

No ha sido hasta que los modelos climáticos han alcanzado un gran desarrollo cuando estos estudios no sólo se han generalizado, sino que han acaparado en gran medida el protagonismo científico de la climatología. Esta nueva realidad surge en las últimas décadas del siglo XX porque hasta entonces, como expresaba Ayoade, “debido a que los controles del clima son mucho más difíciles de medir que los elementos climáticos, la mayoría de los intentos de clasificación de los climas del mundo han adoptado el enfoque empírico” (Ayoade, 1976).

Sin embargo los métodos objetivos, basados en la aplicación de métodos estadísticos multivariantes se han mantenido en la investigación climatológica básica, con una presencia más discreta en su búsqueda por establecer criterios de clasificación de datos espaciales. Von Storch y Navarra destacan un aspecto importante, “dentro de este grupo de aplicaciones la mayor parte de ellas no intentan establecer una correspondencia entre las clases identificadas y situaciones o tipos de tiempo reales. En este sentido se dice que no están condicionados localmente, es decir, que serían tipologías que sintetizan regímenes de variabilidad diferente” (von Storch y Navarra, 1999)

Cuestiones similares se plantean con otras variables del medio físico, por ejemplo, Montes y otros ponen de manifiesto la importancia relativa de los factores de control que cambian según las distintas escalas espaciales: “De esta forma, las mismas características de clasificación no son adecuadas para todas las escalas espaciales consideradas. Cada componente de los ecosistemas define un patrón de comportamiento a una escala espacial determinada. (...) La jerarquía en los sistemas debe entenderse como una categorización escalar de ecosistemas asociados por las mismas dimensiones espaciales” (Montes *et al.*, 1998). Así las regionalizaciones, ampliamente utilizadas en ecología, permiten identificar las escalas de actuación de los factores y por esta razón, para cada nivel todas las propiedades de sus componentes son relevantes para determinar sus patrones de comportamiento y la importancia relativa de los factores de control. Puesto que estos cambian, las mismas características de clasificación no son adecuadas para todas las escalas espaciales consideradas.

Por tanto, conseguir identificar la variabilidad característica de cada escala es algo que resulta difícil y se caracteriza, generalmente, por un alto nivel de incertidumbre. En

este sentido las regionalizaciones sirven para abordar este reto, responden a la necesidad de identificar patrones que permitan describir el comportamiento de las variables climáticas, establecer consideraciones generales sobre las zonas que se identifiquen buscando coherencia espacial y climática a una determinada escala. De este proceso se consigue un beneficio derivado, reducir un gran número de individuos, en nuestro caso estaciones meteorológicas o series de precipitación, en un número pequeño de grupos que facilite su descripción.

Como apuntamos en el capítulo 4 el interés aplicado de los métodos de regionalización se ha diversificado enormemente. Los métodos de regionalización y clasificación climática se han basado tradicionalmente en la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes viéndose enriquecidos recientemente con nuevas aproximaciones que provienen del campo de la inteligencia artificial como los métodos de reconocimiento de patrones (*Pattern recognition*). Debido a la gran disponibilidad de datos accesibles hoy en día, y como consecuencia gran desarrollo tecnológico en los últimos años, estos algoritmos han surgido como una alternativa exacta y eficiente a los métodos convencionales utilizados en climatología y ciencias geográficas en la identificación de patrones espaciales y temporales.

A nivel metodológico las regionalizaciones *clásicas* aplican métodos basados en técnicas estadísticas multivariantes orientadas a la clasificación de elementos, por lo que en este capítulo emplearemos frecuentemente ambos términos indistintamente ya que nos referiremos exclusivamente a los procedimientos.

Iremos describiendo estos métodos en los siguientes apartados haciendo referencia a las principales aplicaciones y consideraciones de interés para la climatología.

#### 4.1.1. Técnicas multivariantes

“La climatología es, en gran medida, el estudio de las estadísticas de nuestro clima. Las potentes herramientas de la estadística matemática, por tanto, encuentran una amplia aplicación en la investigación climatológica que van desde los métodos sencillos que determinan la incertidumbre de una media climatológica hasta las técnicas más sofisticadas que revelan la dinámica del sistema climático” (von Storch y Zwiers, 1999). El comportamiento complejo y de carácter no lineal del sistema climático supone un desafío que intentan abordar los métodos estadísticos. Como expone Venegas “la característica fundamental de los datos climáticos es su alta dimensión debido al elevado número de variables que representan el estado del sistema en un momento dado. Por esta razón resulta aconsejable en muchos casos reducir separar el espacio completo en *subespacios*, por ejemplo el que constituye la denominada *señal* climática y el del *ruído*. Resulta difícil definir estos dos conceptos y muchas veces se depende del

interés del investigador. En términos generales la señal puede ser un patrón espacial, o temporal, o ambos a la vez, determinado por la dinámica del sistema. Por otro lado, el ruido puede ser físico o producido por los instrumentos de medición, y comprende todas aquellas características irrelevantes para la señal climática. Generalmente la señal climática presenta una escalas de más extensas en el espacio y el tiempo que el ruido” (Venegas, 2001).

El clima como síntesis del tiempo atmosférico es en esencia por tanto un fenómeno multivariado. Por esta razón las técnicas estadísticas que se emplean pertenecen al análisis multivariante y se engloban dentro de la categoría del análisis exploratorio de datos, cuyo objetivo es resumir las características dominantes de un conjunto de datos.

La motivación principal de este tipo de análisis en climatología aparece por la necesidad de separar la señal climática de la variabilidad de fondo o ruido. Esta descomposición se realiza con la esperanza de identificar los procesos físicos responsables que generan esta señal, aprovechando una característica fundamental de estos métodos estadísticos que es su habilidad de representar datos distribuidos en el espacio de una forma resumida permitiendo el investigador pueda visualizar los procesos físicos que los generan

Como expone la misma autora citada anteriormente, la detección de la señal climática consigue alcanzar cuatro objetivos en la investigación climática:

- Reconocer patrones naturales de variabilidad climática y diferenciarlos de otros forzamientos internos como los antropogénicos o externos como la radiación solar.
- Utilizar los mecanismos físicos inferidos a partir de la señal climática detectada para construir modelos numéricos climáticos.
- Validar los modelos climáticos mediante la comparación de las características fundamentales de los datos modelados con los observados.
- Utilizar la señal climática para predecir el comportamiento del sistema climático en el futuro.

Por todas estas razones la detección y descripción de la señal climática es una cuestión científica de importancia creciente. Este campo de investigación está alcanzando en España un desarrollo extraordinario con grandes investigadores de reconocido prestigio internacional. En el capítulo dedicado a la variabilidad y cambio climático dentro de la publicación de la Asociación Española de Climatología *La Climatología española. Pasado, presente y futuro* (Rodríguez-Puebla y Brunet, 2007) se recogen buena parte de estos logros en España en este campo de investigación.

La elección del método apropiado de análisis es de extrema importancia cuando el objetivo es identificar la señal climática en el tiempo, en el espacio o en ambos a la vez cuando se utilizan grandes bases de datos. En las últimas décadas nuevos y más sofisticados métodos de análisis de datos se han ido desarrollado y aplicado en parte motivado por la creciente disponibilidad de datos en formato digital, observados o generados por modelos, tomados o producidos, y por capacidad computacional de manejarlos. En este apartado pretendemos dar una visión general de los procedimientos.

Metodológicamente, las regionalizaciones climáticas se logran normalmente utilizando algún tipo de técnica estadística multivariante objetiva. Estos métodos tienen aplicaciones en todos los campos científicos y comenzaron desarrollándose para resolver problemas de clasificación en Biología, se extendieron para encontrar variables indicadoras y factores en psicometría, marketing y las ciencias sociales y han alcanzado una gran aplicación en ingeniería y ciencias de la computación, como herramientas para resumir la información y diseñar sistemas de clasificación automática y de reconocimiento de patrones (Peña, 2002).

La aparición del ordenador transforma radicalmente los métodos de análisis multivariante que experimentan un gran crecimiento desde los años 70 al hacer posible la aplicación de métodos de clasificación basados en observaciones. En los últimos años las técnicas multivariantes están sufriendo una transformación debido a dos hechos: en primer lugar, por la disponibilidad de enormes conjuntos de datos (*Big data*) lo que exige una *minería de datos* basada en algoritmos de agrupamiento que escalen y se puedan aplicar en campos diversos. En este sentido una de las técnicas más utilizadas es el análisis de conglomerados (*cluster*) cuyo fin es descubrir e identificar distribuciones y patrones interesantes subyacentes en los datos (Halkidi *et al.*, 2001). En segundo lugar, los procedimientos que van apareciendo no requieren hipótesis generales sobre el conjunto de observaciones lo que presenta muchas ventajas adicionales.

El supuesto básico de cualquier procedimiento de regionalización es que existe algún tipo de patrón de organización espacial que subyace en el fenómeno que estamos tratando de clasificar y que deseamos descubrir. A pesar de que la agrupación se asocie a un procedimiento inductivo exigen un planteamiento teórico en el que hay que valorar muchas cuestiones previamente ya que existen diferentes aproximaciones.

En sus orígenes las regionalizaciones se basaban en alguna forma de representación gráfica donde los elementos eran agrupados de forma visual y subjetiva. Desde entonces, tal como plantea Johnston existen “variaciones en el método básico de clasificación, algo que plantean la cuestión de si todos llegan a producir resultados similares”. (...) “al parecer los principales problemas prácticos de la clasificación y la

regionalización aún no están resueltos. Los geógrafos y otros científicos tienen aún que tomar decisiones relativas a la elección de la técnica de clasificación y la definición de grupos antes de proceder a su análisis". **La clasificación es un proceso subjetivo a pesar de emplear técnicas numéricas basada en criterios objetivos** debido a "la naturaleza de los datos, el tipo de análisis y los parámetros exactos que deben utilizarse. Todas estas decisiones subjetivas se basan con frecuencia en la experiencia pasada o en algún conocimiento esperable previo sobre el tipo de fenómenos estudiado"(Johnston, 1968).

Ciertamente, los criterios que se elijan para determinar las clases suponen una elección que, aunque metodológicamente justificada, no implica que sea la única y hace que ningún proceso de clasificación sea absolutamente objetivo (Spence y Taylor, 1970). Cualquier regionalización no es más que una forma de ver el mundo, un medio para lograr entender y representar la realidad en la que otros muchos factores determinan esta subjetividad planteada por diversos autores (Dambul y Jones, 2008; Grigg, 1965; Steiner, 1965).

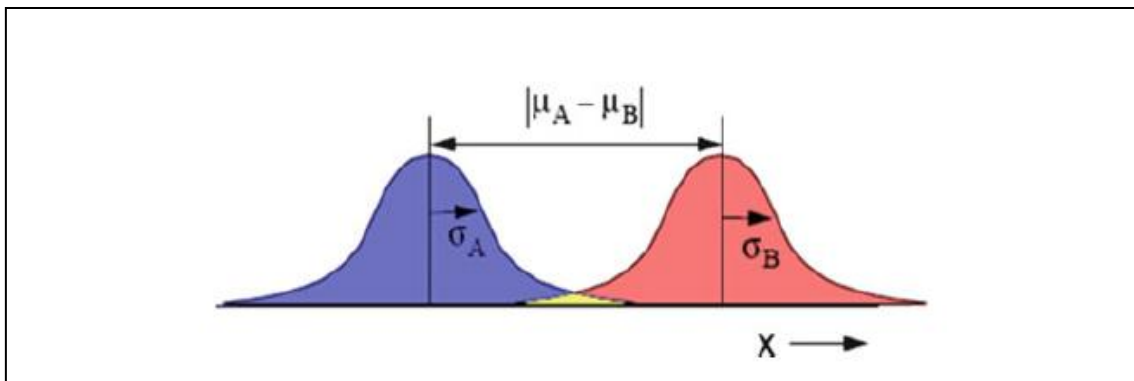
A pesar de esta *subjetividad* pueda parecer, en principio, un inconveniente dota a las regionalizaciones de una gran versatilidad que se traduce en una gran riqueza tanto metodológica como de posibilidades de aplicación. No obstante exigen un especial cuidado en el ejercicio de su elección y antes de proceder se deben clarificar y justificar las razones de los procedimientos seleccionados. Como recomiendan Comrie y Glenn: "es muy fácil de aplicar ciegamente una recomendación (metodológica) cuando en realidad no hay ninguna *respuesta correcta*. Una gama de técnicas estadísticas siempre proporcionan al investigador mayores posibilidades de conocimiento, por lo que en la mayoría de estudios recomendamos la utilización de diferentes datos, así como examinar diferentes procedimientos, como forma de suministrar una medida de la fiabilidad de los resultados de la regionalización"(Comrie y Glenn, 1998).

No debe parecer que no existe ambigüedad en la forma de proceder ya que **el esquema general de estos métodos** es claro. Como explica Ayoade, la mayor parte de los procedimientos de clasificación se basan en la obtención de una matriz de coeficientes de similitud de dimensión  $n \times m$  obtenidos a partir de los datos originales donde  $n$  es el número de objetos y  $m$  es el número de atributos (variables) que describen cada elemento. Existen varios tipos de coeficientes de similitud y su elección está determinada, en gran medida, por la naturaleza de los datos que se analizan ya que cada coeficiente tiene sus propios requisitos. Por ejemplo, el coeficiente de correlación de Pearson asume que los datos se miden en un intervalo escala, mientras que la distancia euclídea exige que las variables sean ortogonales, es decir, independientes, y que se midan en la misma escala (Ayoade, 1976, p.270). Una vez obtenida la matriz de coeficientes de similitud adecuada se procede a la agrupación de los elementos mediante la aplicación de alguno de los métodos existentes.



De esta forma obtenemos clases o zonas homogéneas que minimizan su varianza intra-grupo y maximizan la inter-grupo consiguiendo la mejor diferenciación y separación estadística entre ellas. Cada clase es una colección de elementos que son similares pero no necesariamente idénticos y que es distinguible de los otros grupos (Figura 1.4). Una región homogénea consiste así en un conjunto de áreas espacialmente contiguas que muestran un alto grado de similitud con respecto a un conjunto de atributos. Existen diferentes formas de medir esta homogeneidad que prueban diferentes estrategias para obtener la solución más eficiente y coherente.

Figura 1.4. Ejemplo de una propiedad con buena capacidad de discriminación\*.



Fuente: Dougherty (2013). \* Nota: El resultado de su medición en dos clases diferentes (azul y rojo) debe conseguir pequeñas variaciones intra-clase y grandes variaciones entre clases .

La aplicación de estos métodos en climatología con el fin de obtener una agrupación espacial de estaciones meteorológicas ha sido una práctica común ya que proporciona un método adecuado de sintetizar los datos o suavizar la variabilidad de los puntos de muestreo. La agrupación se justifica por la alta correlación espacial que normalmente presentan las variables climáticas (DeGaetano, 2001).

Los Pioneros en llevar a cabo este tipo de regionalizaciones climáticas fueron Steiner para los Estados Unidos (Steiner, 1965) y McBoyle, clasificando los climas de Australia y Europa (McBoyle, 1972; McBoyle, 1971). Desde entonces se han sucedido las investigaciones que aplican estas técnicas especialmente durante la década de los noventa.

**Tres son los métodos clásicos habituales de regionalización en climatología** y que pasaremos a describir brevemente a continuación ya que existe una amplia bibliografía sobre ellos. Estas tres aproximaciones son el análisis de conglomerados (AC), el análisis de componentes principales (ACP) y métodos que combinan las técnicas anteriores.

Son destacables las revisiones metodológicas sobre los procedimientos de regionalización realizadas por White y otros para el análisis de componentes principales (White *et al.*, 1991) y de Gong y Richman sobre técnicas de análisis de conglomerados (Gong y Richman, 1995). En estos trabajos se ensayan además un gran número de variantes sobre cada unos de estos métodos ofreciendo una exhaustiva

valoración de los diferentes resultados. Por esta razón siguen siendo citas de referencia.

Según los datos y la metodología empleada en las regionalizaciones los límites de cada zona y su reflejo cartográfico pueden variar significativamente, lo cual indica que existen limitaciones prácticas en su uso (Tercek *et al.*, 2012). Las diferencias entre zonas climáticas resultantes presentan diferencias significativas poniendo de manifiesto que cada método capta matices distintos y que su utilidad aplicada puede cambiar.

#### 4.1.1.1. Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados (AC) o *cluster* es uno de los métodos más comunes utilizados en la delimitación de zonas climáticas (Lund y Li, 2009), destacando como herramienta estadística reconocida por su eficacia en agrupar estaciones climatológicas en regiones homogéneas permitiendo, además, sintetizar los datos climáticos de una manera concisa identificando patrones interesantes en el subyacente datos (DeGaetano, 2001; Gong y Richman, 1995; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004; Unal *et al.*, 2003).

Derivada de estas aplicaciones las regionalizaciones obtenidas mediante análisis de conglomerados también han sido utilizadas para optimizar las redes de medición. Puesto que todas las regiones climáticas identificadas están representadas por la red de observación, se pueden eliminar estaciones redundantes o, aplicando otro enfoque basado en el análisis de las varianzas o covarianzas, estimar las estaciones que aportan menos información (Mishra y Coulibaly, 2009).

En la dimensión temporal el AC permite identificar grupos dentro de las series de registros que reflejan patrones o la ocurrencia de determinados fenómenos meteorológicos (Gong y Richman, 1995; Ramos, 2001).

En uno de los estudios más citados, Fovell y Fovell de 1993 comentan que se trata de “una técnica algo comprometida” ya que hasta entonces había sido poco utilizado por las ciencias atmosféricas pese a su uso generalizado en otras disciplinas como la biología, psicología, etc. A partir de entonces su aplicación se extiende como, refleja la bibliografía, y que podemos constatar en la recopilación de trabajos que recoge Gong y Richtman (1995) en su artículo *On the Application of Cluster Analysis to Growing Season Precipitation Data in North America East of the Rockies* y, más recientemente, Lund y Li en su publicación *Revisiting climate region definitions via clustering* (Lund y Li, 2009).

Gong y Richtman resumen las principales aplicaciones en las ciencias atmosféricas de estas técnicas en cinco tipos principales que son los siguientes:

- Regionalización de un elemento climático.
- Regionalización general utilizando diversas variables climáticas.
- Análisis de patrones de circulación atmosférica y regímenes sinópticos.
- Investigación sobre la composición básica de la atmósfera.
- Estudios hidrometeorológicos en cuencas hidrográficas.

Esta versatilidad de las técnicas de análisis de conglomerados ha permitido este amplio abanico de campos de aplicación que no cesa que crecer e innovar como veremos más adelante.

En cuanto a los procedimientos de clasificación mediante AC no vamos a entrar en su descripción ya que existe una extensa bibliografía pero tan sólo mencionaremos que son procedimientos de clasificación no supervisados y que existen básicamente dos aproximaciones, clásicas aunque el artículo reciente de Jolliffe y Philipp (2010) añaden otras (remitimos a este artículo para más detalles). Para nuestros objetivos es suficiente esta diferenciación:

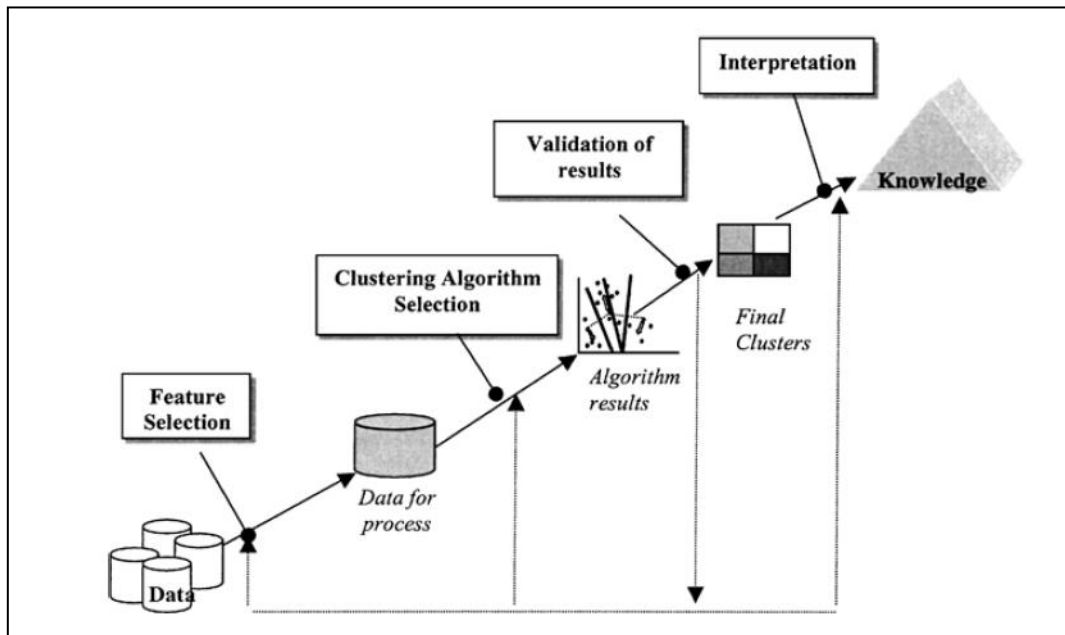
- AC no jerárquico o por particiones. Cuando conocemos de antemano cuántos grupos existen se produce una partición de los objetos en un número especificado de grupos siguiendo un criterio de optimización. Como inconvenientes hay que señalar que hay que determinar el número óptimo de *cluster* a priori y que resulta un procedimiento muy sensible ante la presencia de datos extremos.
- AC jerárquico. Cuando no conocemos cuántos grupos se producen una secuencia de particiones, juntando o separando *clusters* siguiendo algún criterio especificado. Presenta las ventajas de que no requiere hacer inferencias sobre el número de *clusters a priori*, y que permite representar las sucesivas agrupaciones en forma de árbol (dendograma). Partiendo de tantos grupos como elementos existen inicialmente se van agrupando éstos hasta llegar a un único grupo final. Todas las estaciones quedan así clasificadas. No existe un criterio consensado a la hora de decidir el número de grupos que finalmente se seleccionan. Se ha propuesto diversas pruebas para intentar obtener un resultado óptimo basadas algunas en la cohesión interna de las agrupaciones y la separación el aislamiento externo.

Como desventajas citar que es un método sensible respecto de las primeras agrupaciones, que no permite el intercambio de objetos entre grupos una vez que se han fusionado y, por tanto, ciertos objetos podrían quedar *peor clasificados* o quedar fuera de lugar. En la Figura 2.4 puede verse el esquema de las etapas de este tipo de procedimientos.

Cada técnica de agrupación tiene sus propias ventajas e inconvenientes y no existe un consenso claro en la literatura sobre el método que funcione mejor (Manning et al., 2008 citado por Barn y otros, 2015) aunque los supuestos mencionados condicionan su aplicación en muchos casos.

Generalmente como los algoritmos AC no jerárquicos como k-medias requieren la especificación previa del número de grupos y sus centroides (semillas), se consideran menos adecuados para la determinación en la búsqueda de una configuración adecuada utilizando únicamente este procedimiento, a pesar de permitir el intercambio de objetos y su redistribución entre los *clusters* (Argüeso et al., 2011).

Figura 2.4. Etapas en el análisis de conglomerados.



Fuente: Halkidi (2001.)

Una vez obtenidos los grupos por cualquiera de los procedimientos hay que evaluar la clasificación obtenida. La visualización de la clasificación de las estaciones en el territorio permite evaluar la coherencia geográfica de los grupos y su relación con las variables relevantes en climatología (topografía del terreno, orientación, etc.). El resultado final será satisfactorio cuando las regiones obtenidas reúnen una serie de características:

- Ser homogéneas y geográficamente contiguas.
- Tener un tamaño consistente con la escala de análisis como por ejemplo presentar una estructura geográfica coherente con la zona de estudio, la cobertura y densidad espacial de los datos así como con la dimensión de fenómenos climáticos que actúan.

- Número total de regiones es consistente con las propiedades físicas inherentes de interés.

Hay que enfatizar que la regionalización climática es un problema físico-estadístico en el que la solución óptima implica algunas decisiones subjetivas tales como el examen de la contigüidad que mencionábamos o las características geográficas de las regiones. En general se recomienda aplicar diferentes métodos y comparar los resultados ya soluciones similares generalmente indica la existencia de una estructura consistente en los datos mientras que si son muy diferentes probablemente indique una clasificación pobre. Esta forma de proceder refuerza las regiones obtenidas ya que la validez de los *clusters* se juzga mediante una interpretación cualitativa que con un sólo puede ser subjetiva.

En la tabla 1.4., se recogen algunos trabajos recientes de regionalizaciones que utilizan el AC que pretende mostrar la diversidad de aplicaciones para las que son útiles, desde los que persiguen fines puramente climáticos o hidrometeorológicos a aplicados.

**Tabla 1.4. Algunos ejemplos de regionalizaciones realizadas mediante análisis cluster según sus objetivos publicados a partir del año 2000.**

Objetivo fundamental	Temática general	Variable	Estudio	
Climáticos	Regionalización de una variable (Zonas homogéneas)	Precipitación	(Unal <i>et al.</i> , 2003) (Shinker, 2010) (Sanz Donaire y Jiménez Blasco, 2006) (Venkatesh y Jose, 2007) (Rhee <i>et al.</i> , 2008)	
		Temperatura	(Bharath <i>et al.</i> , 2015)	
	Regionalización varias variables (zonificación climática)	Precipitación y temperatura	(DeGaetano, 2001) (Zhang y Yan, 2014)	
		Precipitación, temperatura y humedad	(Iyigun <i>et al.</i> , 2013)	
	Análisis de patrones de circulación atmosférica y sinóptica/predicción	Tipo de tiempo Tipos de circulación atmosférica	(Philipp <i>et al.</i> , 2010)	
	Estudios hidrometeorológicos	Zonas climáticas	(Ramachandra Rao y Srinivas, 2006) (Rodríguez <i>et al.</i> , 2015)	
	Cambio climático	Modelos de Circulación Patrones temporales Cambios en zonas climáticas	Modelos de Circulación	(Hoffman <i>et al.</i> , 2005)
			Patrones temporales	(Günnemann <i>et al.</i> , 2012) (Lund y Li, 2009)
Cambios en zonas climáticas			(Zhang y Yan, 2014)	
Aplicados y gestión	Ecología	Regiones ecológicas	(Baker <i>et al.</i> , 2010)	
		Gestión recursos hídricos	(Boluwade <i>et al.</i> , 2015)	
		Vegetación	(Yeh <i>et al.</i> , 2000)	
	Redes de observación	Optimización	(DeGaetano, 2001)	

Elaboración propia

En resumen, hay diferentes técnicas de regionalización climática mediante análisis de conglomerados en la literatura siendo sensibles al enfoque conceptual, al algoritmo de agrupamiento, al tipo de procesamiento de los datos y a los criterios de validación que se elijan. A pesar de que la enorme diversidad de trabajos científicos sobre el análisis *cluster* dificulta la comparación entre estudios (Badr *et al.*, 2015) proporciona una rica bibliografía en climatología con una valiosísima experiencia acumulada para su aplicación.

#### 4.1.1.2. El Análisis de Componentes Principales

Como comentábamos al inicio del capítulo uno de los problemas de mayor interés para la comunidad científica relacionada con las ciencias atmosféricas es la descripción y análisis de la variabilidad climática. La búsqueda de estructuras espaciales y temporales que expliquen los patrones climáticos que se observan en sus elementos constituye un objetivo fundamental que permiten identificar y describir los regímenes regionales relacionándolos con patrones de circulación atmosférica. Otro de los resultados derivados de este tipo de estudios es proponer modelos estadísticos de comportamiento de las variables analizadas (Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998).

Una de las técnicas clásicas cuyo fin es la identificación de la distribución espacio-temporal de la variabilidad natural climática, es el análisis de componentes principales. Esta técnica se engloba en los métodos de análisis exploratorio multivariantes de datos que intentan captar la señal climática, a partir de la información disponible distribuida en el espacio.

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica multivariante que permite obtener patrones de las variaciones simultáneas de un campo o una variable (Esteban-Parra *et al.*, 1998). Debido a que la característica fundamental de los datos climáticos es su alta dimensión por el elevado número de variables que representan el estado de la atmósfera, resulta aconsejable reducir esta dimensión separando, al mismo tiempo, la señal climática del ruido. EL ACP consigue reducir la dimensión de las variables originales mediante el cálculo de unas nuevas denominadas *componentes principales* tratando de perder la menor cantidad de información posible. Posteriormente, al analizar la varianza total del conjunto de variables observadas, se determina qué componentes las definen seleccionando un número de éstas.

Existe una abundante bibliografía sobre estas técnicas con textos de referencia en las ciencias atmosféricas como Preisendorfer y Mobley (1988) y von Storch and Zwiers (1999), von Storch y Navarra (1999), Wilks (2011) Jolliffe (2014). Tan sólo indicaremos que el ACP, en *términos* generales, se puede emplear para la identificación de patrones

espaciales, (Liu *et al.*, 2015) temporales, o en ambos, según la dinámica del sistema climático.

El dominio temporal el ACP se utiliza para identificar *modos* que permitan identificar el papel de los regímenes de circulación dominantes que afectan a la región. La identificación de las escalas espaciales de las características climáticas asociadas a escalas temporales, es un requisito previo para establecer sobre qué regiones es posible estudiar la evolución climática común (Gazdik y Yoski, 1983).

Los métodos que se emplean para regionalizar son muy variados dentro del ACP y han suscitado importantes debates científicos en cuanto a los mejores procedimientos y aproximaciones dirigidos a mejorar los resultados espaciales de las regionalizaciones (Comrie y Glenn, 1998; Fovell y Fovell, 1993; Jiménez *et al.*, 2008; Richman, 1986; Tercek *et al.*, 2012; White *et al.*, 1991).

Las regiones identificadas mediante ACP han sido utilizadas con diferentes objetivos tales como: identificación de patrones de tormentas persistentes, desarrollo de modelos estadísticos de previsión de lluvias, vinculación de patrones, sinóptica de circulación atmosférica con anomalías precipitación o desarrollo de índices climáticos, entre otras muchas aplicaciones (Guirguis y Avissar, 2008).

El ACP se aplica sobre las observaciones de los elementos climáticos procedentes de las redes de medición pero existen limitaciones que impiden su utilización, debido a la escasa cobertura de estaciones o los grandes vacíos en muchas partes del mundo. Hay que tener en cuenta que las técnicas de ACP son sensibles a la densidad y distribución de los datos por lo que muchas veces se opta por interpolarlos con el fin de crear una distribución regular rejilla (*grid*) que permita su aplicación. Esta es la razón por la que desde hace algunos años se utilizan las grandes bases de datos disponibles en estos formatos, que ofrecen muchos centros e instituciones climáticas.

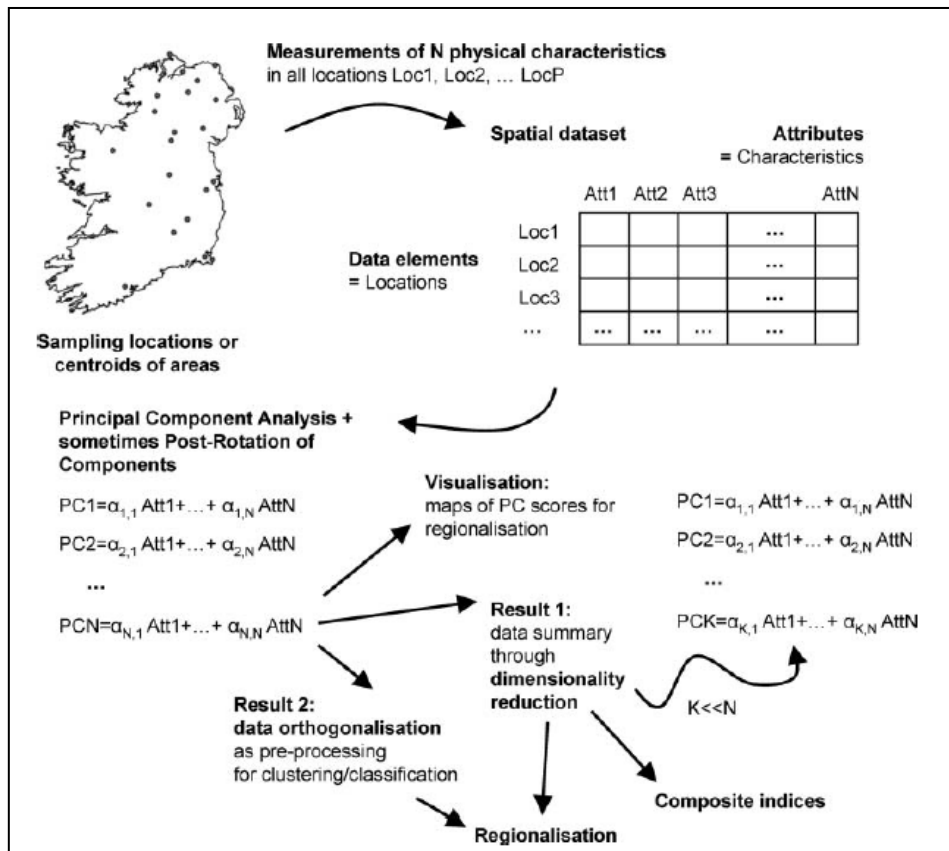
Finalmente, queremos detenernos en comentar el reciente artículo de Demšar y otros *Principal Component Analysis on Spatial Data: An Overview* (2013) en el que ofrecen una visión de conjunto sobre la aplicación del ACP desde una perspectiva geográfica. Los autores revisan críticamente la manera de utilizar estas técnicas con datos espaciales y ponen de manifiesto cuestiones de gran interés para su aplicación geográfica; distinguen diferentes tipologías en las que abordan peculiaridades tales como la teledetección, las ciencias atmosféricas y otros casos similares.

Los autores de este trabajo advierten que “mientras que los datos *habituales* sólo son mediciones de variables o atributos, los conjuntos de datos espaciales se caracterizan por tener una ubicación asociada con cada medición; es decir, la ubicación geográfica dentro del marco tridimensional básico que caracteriza el medio físico donde se toman las mediciones. En contraste con los datos no espaciales, en la información geográfica

se pueden distinguir dos componentes: *espacio geográfico* y *el espacio atributo*. A veces, la información temporal también está presente formando el tiempo un tercer componente, el *espacio temporal*". Volvemos a encontrar en este artículo el debate geográfico que comentábamos en el capítulo sobre clasificaciones y regionalizaciones, acerca de la naturaleza del dato geográfico y la necesidad de tenerla en cuenta en los métodos de análisis habituales derivadas de su localización y relaciones espaciales.

En este sentido aclaran que para los datos geográficos, en general, existen dos propiedades que hacen que los datos espaciales sean diferentes: la *heterogeneidad espacial* y la *autocorrelación espacial*. La heterogeneidad espacial se refiere a la no estacionariedad de los procesos geográficos, es decir, que los procesos pueden variar localmente y no son necesariamente los mismos en cada ubicación espacial. La segunda característica, la autocorrelación espacial es la tendencia de los atributos espaciales de estar relacionados. La presencia de la heterogeneidad espacial y de la autocorrelación espacial invalida dos supuestos básicos de muchos análisis estadísticos estándar: que los datos se generan de forma independiente y se distribuyen de forma idéntica. Como consecuencia de ello, el uso de una metodología estadística estándar, incluyendo PCA, en datos espaciales plantea retos particulares (Demšar *et al.*, 2013).

Figura 3.4. Aplicación del ACP sobre datos espaciales.



Fuente: Demšar y otros (2003).



La figura anterior, Figura 3.4, es un ejemplo de los usos comunes del ACP sobre datos espaciales que pueden ser: puntos espaciados irregularmente (por ejemplo, los sitios de muestreo de las mediciones ambientales) o áreas (por ejemplo, cuencas o distritos administrativos). Las variables son propiedades diferentes medidas en cada punto o área de ubicación. En estos estudios, el ACP se procesa con el conjunto de datos, generalmente mediante programas estadísticos o sistema de información geográfica (SIG) en donde los efectos geográficos no juegan ningún papel en el propio ACP. Los resultados no son propiamente espaciales sino tablas de estadísticas.

La Figura 4.4 muestra el flujo esquemático de esta metodología. Es posible cartografiar, posteriormente, las puntuaciones de las componentes para cada PC ya que corresponden a cada vector de observaciones y en cada ubicación espacial del conjunto de datos. Esta aproximación es la que se emplea comúnmente en los estudios de regionalización en los que el ACP, aplicado a los elementos espaciales, se utiliza para reducir la dimensión o como un método de preprocesamiento de datos, es decir, como cualquier aplicación no espacial.

En el caso de los datos climáticos que podemos apreciar en la siguiente Figura 5.4 el ACP se aplica sobre series temporales en donde las mediciones de una variable meteorológica, en particular, se registran a intervalos de tiempo en cada lugar de muestreo. En este caso, se pueden distinguir tres subespacios en el conjunto de datos espacio-tiempo: el espacio geográfico, el temporal, y el de atributos. Esta característica abre las posibilidades a los modos de aplicación del ACP en seis tipos diferentes, como define Richman (1986), proporcionando cada uno diferentes perspectivas. No vamos a entrar en ellos y remitimos a este autor para su descripción; sólo mencionaremos que el *modo-S (Spatial mode)* y *modo-T (Temporal mode)* son los más utilizados.

Los resultados de los componentes, Funciones Ortogonales Empíricas (EOF), se denominan empíricos porque se originan a partir de valores observados en los campos meteorológicos.

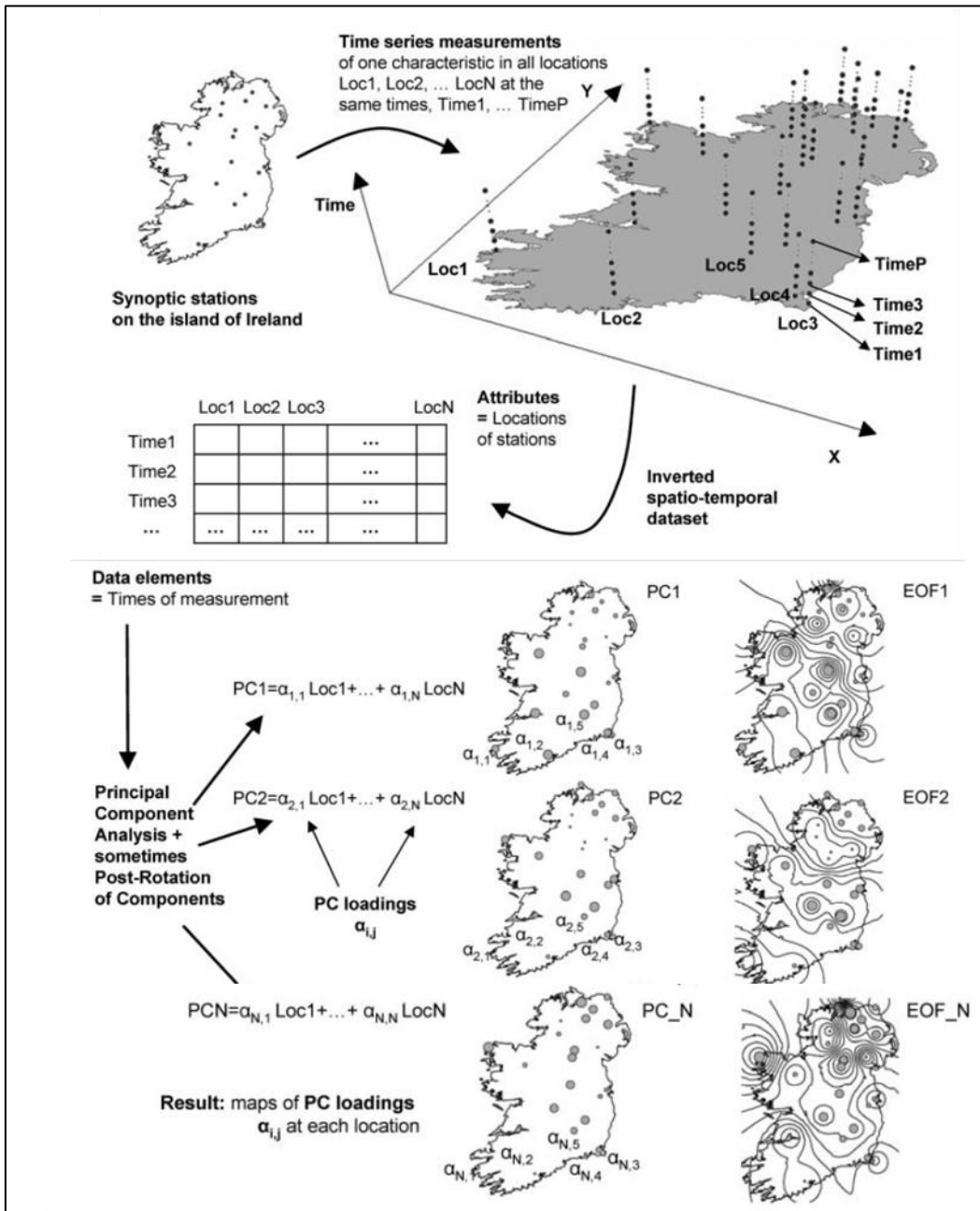
Como veremos en el siguiente apartado, el uso del ACP precede al empleo de algún algoritmo agrupamiento o clasificación posterior como: la clasificación de patrones de circulación, la clasificación de tipos de clima, la regionalización climática, la reconstrucciones de circulación atmosférica, las anomalías de circulación asociadas con la variabilidad climática natural y de reconstrucción de series climáticas (puede ser consultado el trabajo de Esteban y otros (2006) para una revisión).

Esta visión geográfica plantea consideraciones sobre el uso del ACP, debido a la singularidad de las características del tipo de información geográfica en el que se presentan ciertas dificultades. Por esta razón, existen hoy versiones de estos

procedimientos que suponen una mejora dentro la metodología existente y que abordaremos en el apartado sobre nuevas aproximaciones (4.1.3) en de este capítulo.

Como ya hemos mencionado, el uso más extendido del ACP dirigido a obtener regionalizaciones es combinado con el análisis de conglomerados, procedimiento que abordaremos a continuación.

Figura 4.4. Análisis de componentes principales (ACP) en las ciencias atmosféricas y su visualización espacial-empírica de las Funciones Ortogonales (EOF) (ACP espacial)\*.



Fuente: Demšar y otros (2003). \* Nota: La localización se incluye implícitamente en el proceso a través de la trasposición espacio-temporal de los datos donde los puntos de medición se consideran *atributos* y los registros temporales son los *elementos* del conjunto de datos sobre el que se ejecuta el PCA.

#### 4.1.1.3. Regionalización en múltiples pasos

Las metodologías anteriores del AC y el ACP son las metodologías más extendidas en regionalización y ambos procedimientos presentan ventajas e inconvenientes. Por esta razón, a veces, se combinan en etapas sucesivas (*multistep regionalization*) con el fin de mejorar los resultados. De esta forma, se superan dificultades debidas a factores tales como: la naturaleza de los datos, la disponibilidad de información o la propia naturaleza de la variabilidad climática. Lo más habitual es realizar el proceso de regionalización en dos etapas consecutivas:

- En un primer paso se lleva a cabo un ACP sobre los datos originales que consigue reducir la información y la redundancia en los datos, manteniendo sólo los modos de variabilidad más importantes. El ACP separa la señal climática de la variabilidad ruidosa, muy redundante a escalas regionales, al disminuir la dimensión de las regionalizaciones que utilicen varios elementos climáticos y evita, al mismo tiempo, problemas de colinealidad. No obstante, la naturaleza difusa de los resultados de estas técnicas hace que sea difícil determinar las fronteras regionales (Argüeso *et al.*, 2011).
- La segunda etapa consiste en la aplicación de métodos de AC jerárquicos o aglomerativos, utilizando las componentes seleccionadas en la primera fase que explican una gran parte de la varianza original de los datos. El AC se lleva a cabo en base a una medida de similitud establecida que permite la identificación de grupos de variabilidad climática homogéneos de los modos más importantes de ACP (Romero y Ramis, 1999). Se consigue así ir creando, sucesivamente, grupos con elementos muy similares (los pesos, cargas o *loadings* de las componentes) dentro de cada *cluster*, y muy diferentes de las restantes agrupaciones.

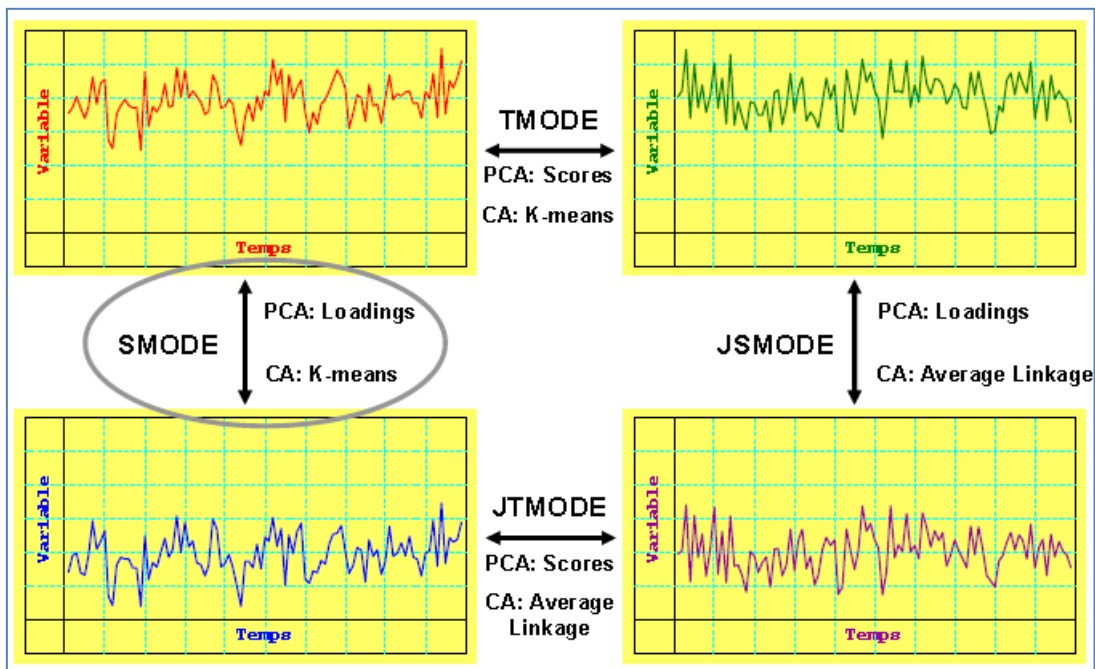
El AC de los modos de PCA retenidas permite obtener grupos de estaciones con cargas similares (Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004) que representan regiones climáticas de variabilidad homogénea y cuyos límites separan regiones climáticas diferentes. El investigador determina el número óptimo de grupos que, finalmente, es seleccionado para la clasificación climática.

Hay que tener en cuenta que muchos algoritmos AC pueden verse afectados negativamente por el ruido en los datos de entrada, un problema que no es insignificante en la mayoría de los registros climáticos. Por esta razón, como han demostrado algunos estudios, cuando se utilizan métodos de ACP conjuntamente con el CA el problema del ruido se reduce significativamente (Argüeso *et al.*, 2011; Badr *et al.*, 2015; Dezfuli, 2011)

Una vez conocidos los límites de las diferentes regiones climáticas, pueden identificarse los patrones temporales de cada una de ellas, caracterizando los regímenes climáticos y los periodos de tiempo que tienen propiedades temporales similares a las variables atmosféricas que estén siendo analizadas.

Este esquema metodológico se puede complicar y presenta muchas variantes (Ver Figura 5.4), y así, las componentes son a veces rotadas utilizando métodos ortogonales u oblicuos con el fin de identificar mejor los modos dominantes de variabilidad (Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004). La elección del método de rotación y el número de componentes retenidos afecta a la estabilidad de los resultados del *cluster* (Comrie y Glenn, 1998; White *et al.*, 1991). A su vez, el modo espacial de ACP (*S-Mode*) y el temporal (*T-mode*) se pueden combinar de diferentes formas, como se recoge en el figura siguiente tomada de la metodología aplicada para obtener una regionalización pluviométrica de las islas Baleares (<http://meteo.uib.cat/>).

Figura 5.4. Ilustración de la metodología empleada para la regionalización, basada en la aplicación de PCA y CA.



Fuente: Romero y otros (1999).

Tercek y otros probaron diversas metodologías concluyendo que cada técnica obtiene áreas climáticas en muchos casos similares pero con diferencias significativas que pueden afectar a la delimitación cartográfica de las mismas. Por esta razón, existen limitaciones prácticas para la utilización y aplicación de los resultados obtenidos por cada una de ellas (Tercek *et al.*, 2012) que deben ser considerados con detenimiento en cada investigación.

En la Tabla 2.4 hemos querido recoger una muestra de este tipo de metodologías en las que se acoplan varias técnicas, fundamentalmente ACP/AC con ejemplos que muestran la variedad de aplicaciones, una vez realizadas las regionalizaciones. En algunos casos, a este esquema de regionalización en pasos sucesivos, se añade una tercera técnica multivariante realizando un segundo AC no jerárquico. Los algoritmos CA no jerárquicos como k-medias requieren la especificación previa del número de grupos y sus centroides (semillas) que se obtienen de las clases resultantes del primer AC. De esta forma, se puede verificar la estabilidad de la clasificación (Asong *et al.*, 2015; Perdinan y Winkler, 2015).

**Tabla 2.4. Algunos ejemplos de regionalizaciones realizadas mediante ACP/Cluster según sus objetivos publicados a partir del año 2000.**

Objetivo fundamental	Temática general	VARIABLES	Estudio
Climáticos	Regímenes climáticos	Temperatura/precipitación	(Perdinan and Winkler, 2015) (Unal et al., 2003) (Brunetti et al., 2006)
		Temperatura	(Sarmadi and Azmi, 2015)
		Viento	(Jiménez et al., 2008)
		Precipitación	(Uzair Qamar, 2015) (Satyanarayana and Srinivas, 2011) (Dezfuli, 2011) (Sohoulande Djebou et al., 2014) (Asong et al., 2015)
	Extremos	Sequías/Aridez	(Vicente-Serrano et al., 2004) (Geng et al., 2014) (Bettolli et al., 2010) (Raziei et al., 2008) (Sohoulande Djebou et al., 2014) (Balling and Goodrich, 2007)
		Precipitaciones extremas	(Wotling et al., 2000) (García-Marín et al., 2011)
	Patrones de circulación atmosférica	Tipos sinópticos	(Esteban et al., 2009) (Philipp et al., 2010) (Fragoso and Tildes Gomes, 2008)
	Cambio climático	Modelización	(Argüeso et al., 2011)
		Tendencias	(Huth and Pokorná, 2005)
		Precipitaciones extremas	(Gao et al., 2015) (Peñarrocha et al., 2002)
Medioambientales y gestión	Ecología	Regiones ecológicas	(Shaohong et al., 2003) (Tercek et al., 2012)
	Recursos hídricos	Gestión de cuencas	(Latt et al., 2015)
	Redes de observación	Optimización	(Romero et al.) (Hoffman et al., 2013) (Perdinan and Winkler, 2015)

Elaboración propia.

Hemos resumido los métodos que se utilizan con mayor frecuencia y que presentan una gran cantidad de variantes metodológicas adaptadas a los casos de estudio tales como: objetivos, tipos de datos, variables, etc. Comprobamos así, la enorme versatilidad de técnicas que ofrecen un panorama muy rico para la obtención de regionalizaciones climáticas, con una extensa producción científica.

#### 4.1.2. Consideraciones sobre las técnicas de regionalización de la precipitación

Las estaciones meteorológicas pueden ser clasificadas según los registros de precipitación, de acuerdo con los trabajos que llevan a cabo: identificar su régimen, patrones de fluctuación, patrones espaciales de variabilidad, etc. El procedimiento es más objetivo, exacto y rápido si se emplean técnicas multivariantes que consideran una sola variable climática como la precipitación, además, es la forma *más sencilla* de definir y establecer una regionalización.

A pesar de que la utilización de una única variable tiene, en principio, menos complicaciones, esto no es así en el caso de la precipitación debido a su alta variabilidad y plantea cuestiones metodológicas importantes.

En la práctica convencional de regionalizar la precipitación existen una serie de condicionantes:

- La exigencia de un número adecuado de puntos espaciales con suficiente registros información en el tiempo, como para formar regiones significativas. Fovell y Fovell (1993) advierten de los sesgos latentes que surgen debido a la distribución espacial. La agrupación de estaciones está condicionada por la escasez de datos, siendo este problema difícil de abordar por las limitaciones que presentan las base de datos climatológicas (DeGaetano, 2001).
- Todavía hay necesidad de desarrollar una metodología específica para la regionalización de la precipitación, dada la falta de una estrategia reconocida para validar las regiones delimitadas como homogéneas y para predecir valores en puntos no muestreados.
- La falta de una estrategia reconocida para validar las regiones delimitadas como homogéneas y para predecir valores en puntos no muestreados, lo que determina que aún haya necesidad de desarrollar una metodología eficaz para la regionalización de la precipitación.
- La necesidad de identificar y describir la unidad de análisis en la que basar la regionalización ya que podrían ser múltiples: medidas estadísticas medias,

extremas, series completas, índices etc. Y a su vez, a diferentes escalas temporales: diaria, mensual o anual.

Volvemos al debate de que *el individuo natural no existe* y debe ser elegido respecto a la disponibilidad de datos y el propósito de la clasificación. En el establecimiento de regiones climáticas la base de la clasificación no es *una unidad de la atmósfera* sino los valores recogidos en las estaciones meteorológicas. No obstante, los *peligros* que algunos autores como Grigg mencionaban al tomar este tipo de individuo porque no existía otra alternativa, (Grigg, 1965) pueden superarse con datos de satélite, grandes bases de datos en rejilla y otros productos similares de los que se disponen en la actualidad.

En las técnicas multivariantes, los métodos que se emplean para regionalizar son muy variados y han suscitado debates científicos centrados en cuáles podrían ser los mejores procedimientos y aproximaciones encaminados a mejorar los resultados espaciales de las “regionalizaciones”(White *et al.*, 1991).

Desde la década de los 80 y principios de los 90 se han ido desarrollando diferentes metodologías, entre las que destacan las que hemos ido tratando para la precipitación: las Funciones Ortogonales Empíricas (EOFs), el Análisis de Componentes Principales (ACP) o el Análisis Cluster.

En el caso de la precipitación, estos métodos han demostrado su utilidad para regionalizar la variabilidad tanto a nivel espacial como temporal. Christoph y otros, apuntan cinco posibles aplicaciones prácticas que pueden derivarse del establecimiento de regiones pluviométricas en un contexto temático más amplio (Christoph *et al.*, 2003):

- a) Aplicaciones en *downscaling* y estudios sobre impactos climáticos.
- b) Uso en modelos climáticos y de predicción.
- c) Comparación de métodos estadísticos.
- d) Detección de fluctuaciones climáticas.
- e) Diseño de redes de medición.

No obstante, como hemos mostrado en los cuadros anteriores, las regionalizaciones pluviométricas y climáticas, en general, están diversificando sus aplicaciones más allá de las propiamente científicas incorporándose cada vez más a la gestión medioambiental, como iremos viendo a lo largo de este trabajo.

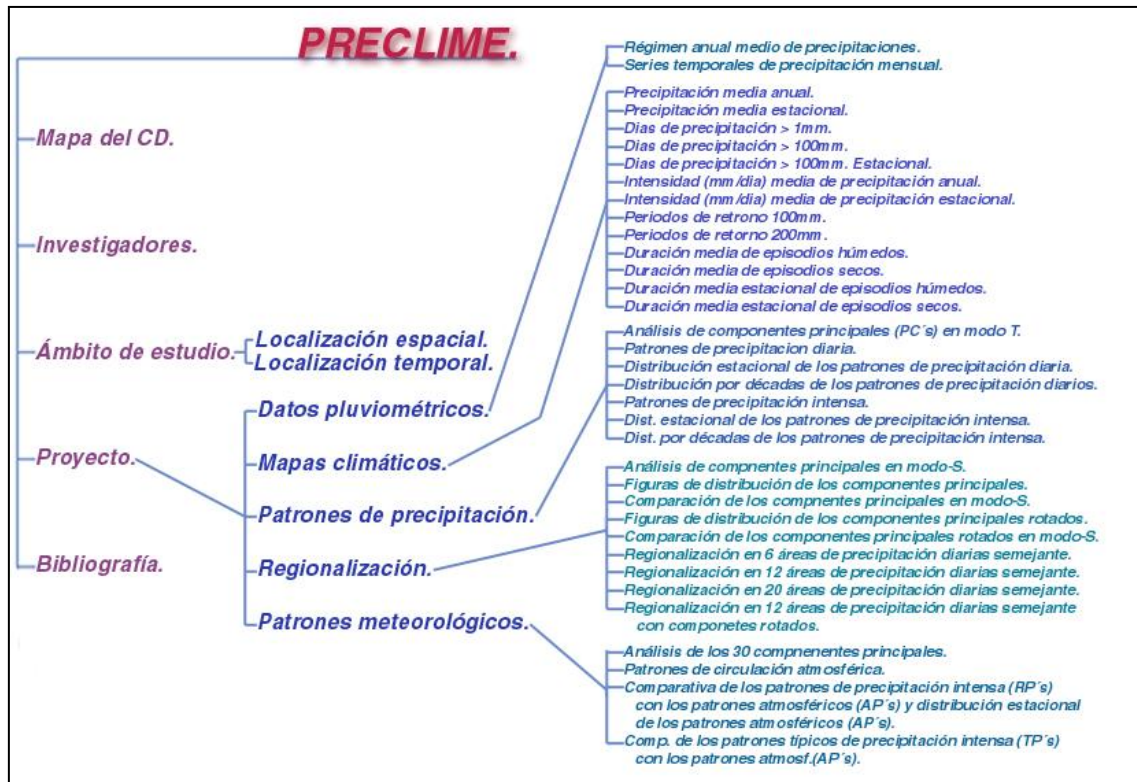
El interés actual por diferenciar las escalas de variabilidad con el fin identificar las señales de cambio climático pone de manifiesto la necesidad de delimitar ámbitos

espaciales de comportamiento homogéneos que ayuden a separar la variabilidad natural de la antropogénica.

Nos ha parecido de interés, mostrar un ejemplo (Figura 6.4) que desarrolla las enormes posibilidades de aplicación de estas técnicas multivariantes de análisis y de las regionalizaciones que pueden obtenerse: el proyecto PRECLIMED *Organización Espacial y Temporal de la Precipitación en el Litoral Mediterráneo Español* (Proyecto CICYT CLI95-1846) realizado por el Grupo de Meteorología de la Universidad de las Islas Baleares, cuyo objetivo se centra en “caracterizar el régimen de precipitación diaria y las configuraciones meteorológicas que lo producen, propios del litoral mediterráneo español”. Esta iniciativa plantea, además, otros objetivos específicos:

- Conocer la organización espacial y temporal de la precipitación diaria en las comunidades de Andalucía, Cataluña, Islas Baleares, Murcia y Valencia.
- Conocer los periodos de retorno, y su distribución espacial, para los casos de precipitación superior a determinados valores críticos.
- Obtener las configuraciones meteorológicas típicas asociadas a diferentes tipos de organización de la precipitación.
- Identificar los diferentes mecanismos geográficos y físicos que pueden dar lugar a las situaciones típicas mencionadas, en particular a las torrenciales, y a su evolución temporal.

Figura 6.4. Resultados del proyecto PRECLIME en la web.



Fuente: <http://meteo.uib.cat/>



A pesar de la extensa bibliografía existente sobre las regionalizaciones pluviométricas, son escasos los estudios que ofrecen resultados accesibles en la red, lo que impide acceder a la información, cartografías y por consiguiente ser de utilidad para la investigación. Indudablemente las posibilidades de difusión en la red a través de la red y de *web mapping* abren la posibilidad de difundir los resultados científicos.

#### **4.1.3. Nuevas aproximaciones**

Durante las dos últimas décadas, se ha producido un considerable avance en el análisis y desarrollo de procedimientos de regionalización, sin embargo, ninguno ha demostrado una validez suficiente como para conseguir resultados universalmente aceptables entre los diversos métodos de regionalización empleados habitualmente. Por esta razón, siguen apareciendo nuevos métodos que, en muchos casos, son variaciones de los existentes, o bien se utilizan algoritmos híbridos en los procedimientos de aglomeración buscando mejoras para lograr una mayor flexibilidad en los estudios de regionalización (Ramachandra Rao y Srinivas, 2006).

Inicialmente los investigadores debían justificar la robustez de los procedimientos taxonómicos numéricos y los resultados frente a pequeñas desviaciones de la normalidad en los datos brutos (Willmott, 1978). En la actualidad, los avances en los propios procedimientos permiten no partir de estas exigencias, debido a la falta de asunciones sobre los datos usados en sus bases conceptuales, lo que les proporciona una gran versatilidad. No vamos a ocuparnos de los nuevos procedimientos, sólo mencionaremos algunos que pueden resultar de interés por sus aplicaciones en climatología.

##### **4.1.3.1. Análisis de conglomerados temporal**

El análisis de conglomerados, por ser una de las denominadas técnicas *blandas*, es ampliamente utilizado e incluso siguen apareciendo nuevas aproximaciones que extienden sus campos de aplicación, es por lo tanto un ámbito de investigación muy dinámico. En climatología, hidrología y el conjunto de ciencias atmosféricas estas técnicas tienen una gran tradición y, aunque no corresponde a este trabajo revisar las innovaciones metodológicas, mencionaremos algunas que están estrechamente relacionadas con los contenidos de nuestra investigación y que podrían ser de utilidad para nuestro banco de datos.

La creciente importancia otorgada en investigación al análisis temporal de los fenómenos atmosféricos, ha impulsado métodos de agrupación de series temporales (*Time series clustering*) (Lund y Li, 2009; Wang et al., 2006) encaminadas a la búsqueda

de periodos similares en series largas. Ese tipo de análisis, selecciona agrupamientos correspondientes a grupos similares en el tiempo, que permiten describir la evolución, detección y caracterización detallada de los cambios que se producen en la serie. Para descubrir cambios en el clima, necesitamos encontrar tipos de patrones en la evolución temporal de las series y analizar sus propiedades. Este área de investigación está experimentando un gran auge en los estudios de cambio climático (Günnemann et al., 2012).

Otros trabajos como el de Wang y otros, en 2006, proponen un método para la agrupación de series temporales en función de sus características estructurales, utilizando estas propiedades globales extraídas de la serie temporal, en lugar de una distancia métrica. Las medidas estadísticas de cada serie se obtienen mediante el análisis de sus características: tendencia, estacionalidad, periodicidad, correlación serial, asimetría, curtosis, caos, no linealidad y auto-similitud, para introducirlas posteriormente en algoritmos de agrupamiento. Y de esta forma, al utilizar medidas globales en los análisis en lugar de los datos originales, se reduce la dimensión de la serie temporal siendo mucho menos sensible a los datos que faltan o al ruido aunque esto puede suponer cierta pérdida de información. Los resultados empíricos muestran que este enfoque es capaz de producir agrupaciones significativas ya que las agrupaciones resultantes son similares a las producidas por otros métodos, aunque con algunas variaciones prometedoras que pueden explicar las características globales de las series temporales utilizadas.

Existen dos categorías en el agrupamiento de series temporales (*Time series clustering*) tal como recoge Keogh (Keogh et al., 2003 citado por Wang et al., 2006).

- El "agrupamiento completo" (*Whole clustering*) que consiste en la unión de series temporales en grupos de series similares.
- El "agrupamiento de secuencias" (*Subsequence clustering*), basado en el desplazamiento de una ventana que encuentra, dentro de una misma serie temporal, similitudes y diferencias entre diferentes ventanas de tiempo.

Por otro lado, existen dos formas de identificar la similitud al realizar un agrupamiento: el "nivel de forma" (*shape level*) que se centra en el agrupamiento de series de corta duración como los perfiles de expresión de genes, y el "nivel de estructura" (*structure level*) que mide el grado de similitud y que se basa en la estructura de "alto nivel" en series temporales de gran longitud, tales como los datos meteorológicos (Wang et al., 2006).

A pesar de que nuestro estudio no utiliza el análisis de series temporales, estas metodologías podrían emplearse en la categoría de agrupamiento completo para identificar la similitud a nivel de estructura, lo que podría agrupar ámbitos de comportamiento similar.

#### 4.1.3.2. Análisis de componentes principales y conglomerados espaciales

En la literatura actual cada vez encontramos más estudios que utilizan versiones adaptadas del AC y AC para analizar datos geográficos. Parece que hay una necesidad de impulsar este tipo de técnicas para adaptarlas al tratamiento de datos espaciales y que de esta forma puedan ser exploradas por los geógrafos. Nuevamente remitimos al artículo de Demšar y otros (2003) en el que se describen tres técnicas PCA verdaderamente espaciales diseñadas, específicamente, para captar los efectos del espacio sobre los datos geográficos. No entraremos a describirlas ya que pueden encontrarse en el artículo de estos autores, sólo las mencionamos como ejemplos de estas novedades metodológicas, poco utilizadas aún en geografía.

Respecto a la primera característica que mencionábamos que propia de la información geográfica, la heterogeneidad, aparecen dos técnicas: el ACP ponderado localmente (*Locally Weighted PCA, LWPCA*) y el ACP ponderado geográficamente (*Geographically Weighted PCA, GWPCA*) que consideran la no estacionariedad de los datos espaciales.

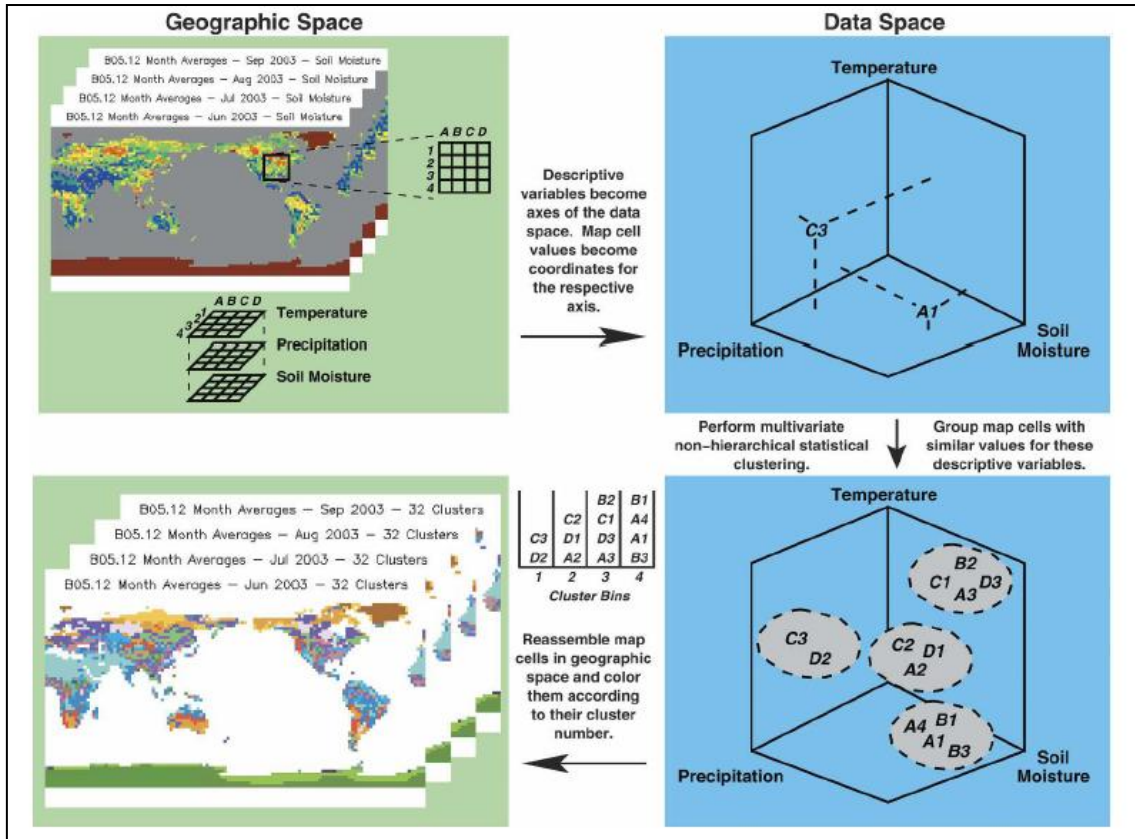
Respecto al segundo rasgo de la información geográfica, la autocorrelación espacial, contamos con:

- Una técnica de AC que incorpora esta característica a través de índice I de Moran (*spatial PCA, sPCA*).
- Un ACP regionalizado que explora estructuras espaciales a partir del uso de la geoestadística y que utiliza el variograma como medida de autocorrelación.

Otro ejemplo del interés por incorporar la dimensión espacial a estas técnicas multivariantes de análisis de conglomerados, son las creadas por Hoffman y otros que desarrollan lo que han denominado Análisis de Conglomerados Geográfico Multivariante (*Multivariate Geographic Clustering (MGC)*) dirigidas a delimitar ecoregiones (Hargrove y Hoffman, 2004). De estas técnicas también podemos hacer referencia a las condiciones ambientales previstas por los modelos generales de circulación acoplada al modelo de circulación (GCM) para extraer patrones climatológicos significativos.

En cuanto a la incorporación de la dimensión temporal, se puede obtener mediante técnicas multivariantes para el análisis series temporales (*Espacio-Temporal Clustering (MSTC)*). Las regiones resultantes, que cambian a medida que avanza el tiempo de simulación, son llamadas regímenes climáticos o estados climáticos (Hoffman *et al.*, 2005) (Figura 7.4.).

Figura 6.4. Análisis geográfico de conglomerados.

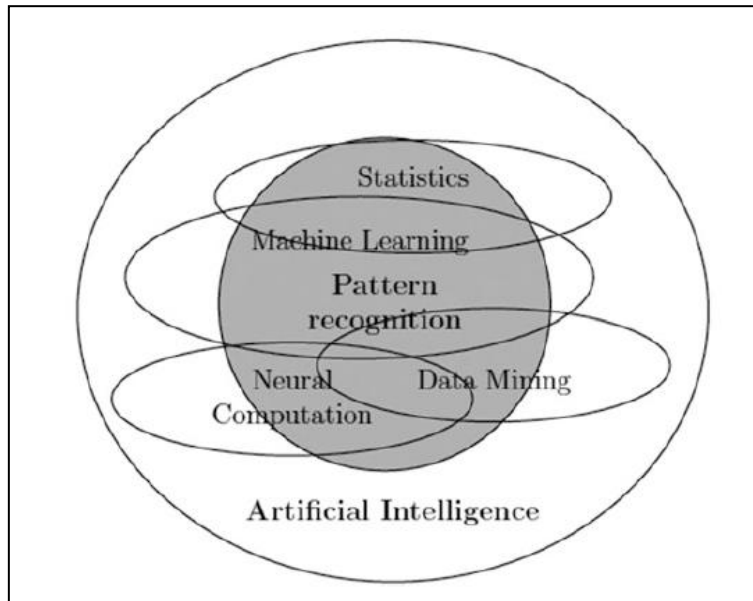


Fuente: Hoffman y otros (2005).

#### 4.1.3.3. Inteligencia artificial y aprendizaje de máquinas

La inteligencia artificial es un área de las ciencias cuyo objetivo es crear sistemas (máquinas, software...) capaces de resolver problemas por sí mismos emulando la inteligencia humana. La inteligencia artificial, en la cual la estadística y las ciencias computacionales convergen, puede ser usada para el análisis de datos y para extraer una serie de patrones (*pattern recognition*) que permitan caracterizar un fenómeno dado (Figura 8.4). Dentro de la inteligencia artificial, en los últimos años los métodos de aprendizaje de máquinas (AM) o *machine learning* han emergido como técnicas alternativas o complementarias a la estadística convencional (Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2012).

Figura 7.4. Inteligencia artificial y campos relacionados



Fuente: Dougherty (2013)

Comparando las técnicas estadísticas tradicionales, como las que hemos empleado en nuestro estudio, con este nuevo campo de técnicas de clasificación podíamos simplificar su analogía según la siguiente tabla (Tabla 3.4.):

Tabla 3.4. Comparación métodos de clasificación estadísticos y de aprendizaje de máquinas

Clasificación	Tipo de clasificación	Predicción de clases
Aprendizaje de máquinas	Aprendizaje sin supervisión	Aprendizaje supervisado
Estadística	Análisis de conglomerados	Análisis discriminante

Fuente: Modificado de Pardo (2010)

Las técnicas de AM consisten en algoritmos capaces de generalizar comportamientos a partir de información proporcionada en forma de ejemplos. Son por tanto una estrategia inductiva de conocimiento. Este conjunto de metodologías resulta muy adecuado frente a los métodos estadísticos convencionales cuando el espacio de características es complejo y los datos tienen distribuciones estadísticas diferentes (Rodríguez-Galiano, 2011). Por tanto, estos algoritmos representan una alternativa exacta y eficiente a los métodos convencionales utilizados en climatología y geografía para identificación de patrones espaciales y temporales. En el campo de la teledetección han sido utilizados ampliamente aplicando una gama de metodologías que van desde algoritmos no supervisados, como el análisis de conglomerados, hasta otros procedimientos supervisados como las redes neuronales artificiales.

El AM es un área relativamente nueva de la ciencia, y por tanto está sujeta a un continuo desarrollo. Durante las últimas décadas han surgido un gran número de

métodos. Entre los más ampliamente conocidos se encuentran los Árboles de Decisión (AD) (Breiman *et al.*, 1984), las Redes Neuronales Artificiales (RNA) (Rumelhart *et al.*, 1986), Maquinas de Soporte Vectorial (MSV) (Cortes y Vapnik, 1995) y clasificadores de conjunto como *Random Forest* (RF) (Breiman, 2001; Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012), entre otros. Estos métodos aunque parten de bases conceptuales diferentes, comparten una serie de características muy ventajosas para su aplicación (Mas y Flores, 2007; Mountrakis *et al.*, 2011):

- La habilidad de estas técnicas para aprender patrones complejos, considerando relaciones no lineales entre las variables explicativas y las variables dependientes (clases temáticas).
- La capacidad de generalización de estos algoritmos hace posible su aplicación en bases de datos incompletas o ruidosas.
- Permiten la incorporación en el análisis de información conocida a priori.
- Permiten la integración de diferentes tipos de datos en el análisis debido a la ausencia de asunciones sobre los datos usados (ej. normalidad). Esta última característica posibilita la incorporación de datos de diferentes sensores y de variables auxiliares como la elevación, pendiente, temperatura, emisividad, textura, así como mapas temáticos.

Las RNA son probablemente los algoritmos de AM más utilizados hasta el momento, debido fundamentalmente a la disponibilidad de implementaciones en diferentes paquetes SIG (Avantra Geosystems, 2006; Kemp *et al.*, 1999; Sawatzky *et al.*, 2010; Sawatzky *et al.*, 2009) y han demostrado ser eficaces en los procedimientos de clasificación mediante procesos de *aprendizaje competitivo* o *aprendizaje sin supervisión* entre otros (Christoph *et al.*, 2003). Las RNA tienen una amplia gama de aplicaciones tales como la clasificación, cartografía, procesamiento de imágenes de satélite para la obtención de parámetros biofísicos ligados a la vegetación, optimización, etc. y en campos muy diversos de investigación. Precisamente se utilizan en muchos casos combinados con métodos clásicos de regionalización como el AC o ACP (Latt *et al.*, 2015).

En el campo de la climatología la aplicación de las redes neuronales como método de clasificaciones han sido empleados en diferentes campos y para diversos elementos como la distribución de lluvias (Michaelides *et al.*, 2001), clasificación de nubosidad a partir de imágenes de satélite (Kyriakou *et al.*, 1999), identificación de patrones de circulación (Ambühl *et al.*, 1997), la detección de patrones espaciales o temporales

(Kisi y Sanikhani, 2015), funcionamiento y predicción circulación atmosférica (Abbot y Marohasy, 2015), simulación y estimación de elementos climáticos (Yang *et al.*, 2015), modelización y predicción de variables poco medidas o difíciles de estimar por su complejidad al ser influenciados por numerosos factores como la radiación solar, la evapotranspiración o la propia precipitación (Lyra *et al.*, 2015; Şenkal, 2015; Tezel y Buyukyildiz, 2015; Wadi Abbas Al-Fatlawi *et al.*, 2015) o la evaluación de la calidad de series temporales (Marohasy y Abbot, 2015) entre otras.

Sin embargo, aún está por determinar si las RNA son la mejor herramienta a aplicar en climatología, ya que requieren del ajuste de un gran número de parámetros internos que pueden afectar significativamente a la robustez de los resultados y se comportan como cajas negras (*black box*), limitando la interpretación de los resultados. Por otro lado otros algoritmos como los AD son fáciles de aplicar e interpretar, con un reducido número de parámetro a configurar y por tanto muy automatizables, (Bater y Coops, 2009; Herrera *et al.*, 2010). Sin embargo, esta ventaja comparativa de los AD respecto a las RNA puede resultar menoscabada por una tendencia a sobre-ajustarse a los datos, generando modelos poco generalizables (Breiman, 1984). Por estas razones, las RNA y los AD están siendo remplazados en otros campos como la teledetección o las ciencias de la Tierra en general (Rodríguez-Galiano *et al.*, 2015; Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2012).

Durante la pasada década la familia de métodos *kernel* como las MSV (Al-Anazi y Gates, 2010; Booker y Snelder, 2012; Chen *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2012; Zimmermann *et al.*, 2012) o los clasificadores de conjunto como RF (Chan y Paelinckx, 2008; Davis y Robinson, 2012; Ghimire *et al.*, 2012; Rodríguez-Galiano *et al.*, 2012; Vincenzi *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2009; Waske y Braun, 2009) han emergido como metodologías más estables, robustas, e interpretables, y por tanto con una alta potencialidad para su aplicación en climatología, siendo aún los estudios en este campo escasos en comparación con las técnicas anteriormente mencionadas (Nasseri *et al.*, 2013).

#### 4.2. Estado de la cuestión sobre los estudios de regionalización en España

En la Península Ibérica, el amplio rango de valores de los elementos climáticos y su compleja distribución espacial entraña dificultades para establecer una regionalización que pueda considerarse definitiva, ya que siempre contará con diferentes subtipos (Font Tullot, 2000; Martín Vide y Olcina Cantos, 2001). Esta afirmación resume la esencia misma de las características de nuestro clima mediterráneo, de su variabilidad temporal, extrema en el caso de las precipitaciones, y acentuada espacialmente por la complejidad geográfica y orográfica de nuestro país.

.

En un país en el que la disponibilidad de los recursos hídricos ha marcado su historia, es evidente que el estudio de la distribución y diferencias espaciales haya sido un tema de gran relevancia en la investigación; sin embargo, sigue siendo *relativamente desconocido*, sobre todo en la dimensión espacial. Hay una serie de factores que determinan la proliferación de trabajos dedicados a este campo en España; consideramos que una de las motivaciones fundamentales ha sido el interés por conocer la irregularidad temporal y espacial de las precipitaciones a fin de mejorar el conocimiento de los recursos del sistema hidrológico. En este sentido, hay que mencionar que existen dos circunstancias que han determinado que la investigación climática en España se haya ido *alejando* de estudios *básicos*: el conocimiento de las variables climáticas a escala regional, y la distribución espacial de sus elementos y de su cartografía. Este *olvido* ha jugado *a favor* del estudio temporal de los fenómenos climáticos en nuestro país, principalmente debido a:

- La importancia de los riesgos climáticos en España como problema territorial que afecta a la sociedad y a la economía española por la ocurrencia de fenómenos extremos, característicos de nuestro clima, y por “el alto grado de ocupación humana en algunas de sus regiones que convierten al territorio español en espacio geográfico con riesgo natural elevado en el conjunto de Europa” (Olcina Cantos, 2009). En las últimas dos décadas se han producido cambios importantes en la consideración territorial de la peligrosidad natural en Europa y España. Hay que tener en cuenta que las precipitaciones extremas e inundaciones constituyen en nuestro país, por orden de importancia socio-económica, territorial, y de frecuencia de aparición, el primer riesgo climático en España.
- La necesidad de proporcionar agua suficiente para los agentes sociales dispuestos a utilizarla en el desarrollo de la producción, especialmente del regadío, superando el déficit estructural (Sampedro Sánchez y Del Moral Ituarte, 2014). Se trata de un problema de índole *nacional*, como expresaban los regeneracionistas decimonónicos, que ha marcado desde entonces la política nacional hidrológica y, en gran medida, la agrícola y medioambiental. Esta circunstancia ha orientado gran parte de los estudios pluviométricos, especialmente desde la climatología geográfica.

Muchas son las investigaciones sobre sequía en España, las primeras podemos situarlas a mitad del siglo XIX en los trabajos de Rico Sinobas y Echegaray Lacosta, creciendo exponencialmente su número conforme nos acercamos a la actualidad (Limonés Rodríguez, 2013).

La caracterización temporal de la precipitación, su frecuencia y probabilidades han sido, por tanto, uno de las cuestiones más analizadas, y sería difícil sintetizar los innumerables trabajos que existen en la bibliografía de nuestro país. A esta prolífera



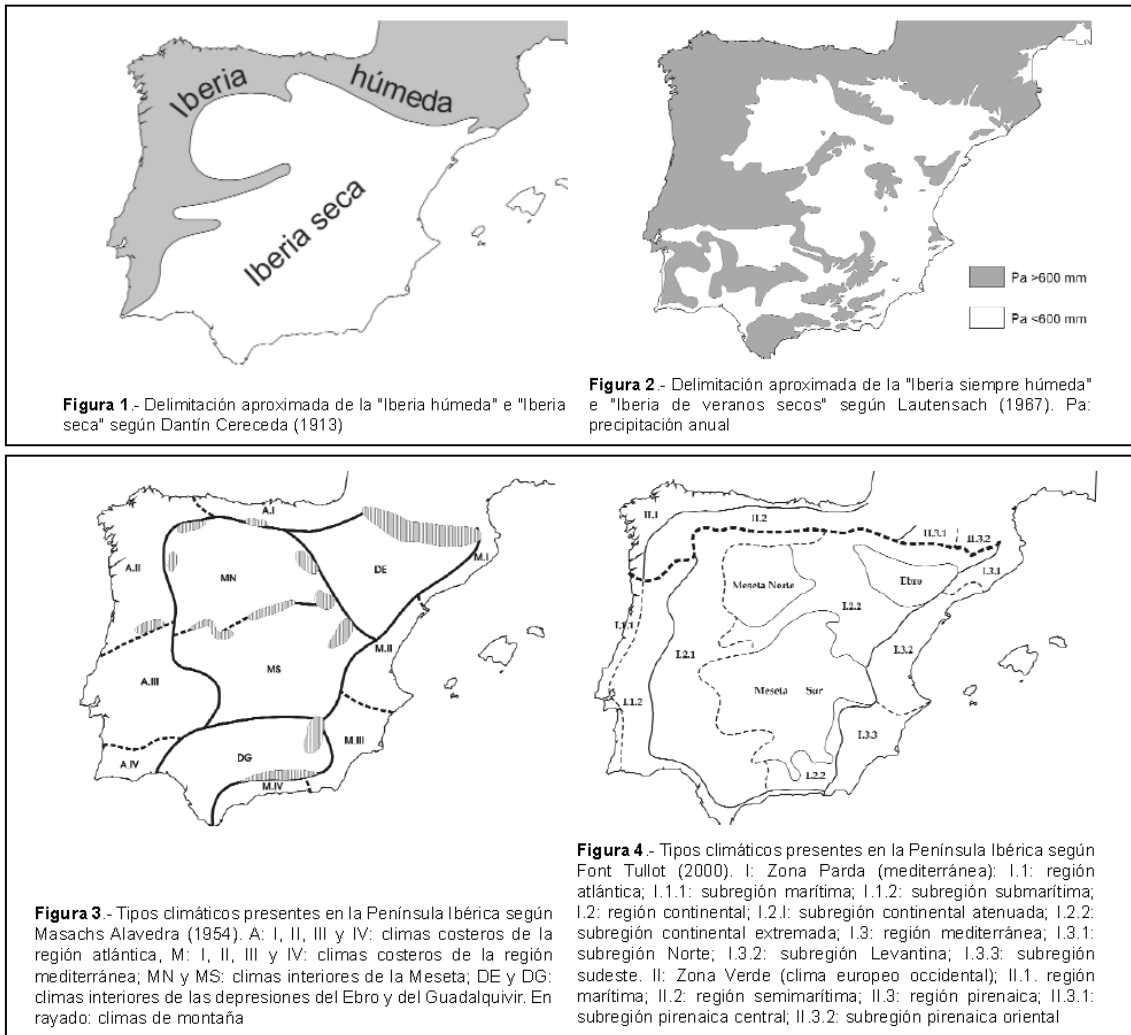
producción científica contribuye, en el momento actual, el hecho del panorama poco alentador que presentan los modelos de cambio climático para las próximas décadas del presente siglo que inciden en la profundización del carácter extremo de nuestras condiciones climáticas, especialmente en las regiones del mediterráneo y del sur peninsular (Olcina Cantos, 2009). Esta situación puede ser una de las causas del interés científico que despiertan junto a la modelización climática.

La relevancia de la tradición fitoclimática o bioclimática en España, puede ser otro elemento de carácter científico-histórico que ha influido en la orientación predominante de la investigación climática. El estudio de la cubierta vegetal en nuestro país ha sido el punto de partida de muchas de las clasificaciones climáticas en las que la precipitación ya estaba en la contraposición entre la “Iberia húmeda” y la “Iberia seca” introducida por el geógrafo francés Jean Brunhes (1902) tomando como referencia la isohieta de 600 mm. Esta dicotomía fue mantenida, con algunos matices, por geógrafos y fisiógrafos, como Hernández Pacheco, Dantín Cereceda o Lautensach, entre otros, hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX (Rodríguez Guitián y Ramil Rego, 2007) (Figura 9.4).

En algunos casos, esta división ha añadido connotaciones relacionadas con los tipos de paisaje y con la cubierta vegetal que las caracterizan, y han sido utilizadas de manera indirecta, para establecer relaciones entre elementos del clima y tipologías particulares del paisaje que se repiten a lo largo de dichas unidades *geo-climáticas*, originando rasgos diferenciadores específicos (Font Quer, 1952).

El peso justificado de estas temáticas, de larga tradición en la climatología española, unido a la relevancia actual de la evidencia de cambios futuros en el clima, ha ido en detrimento del análisis científico de muchos aspectos básicos de la precipitación a escala regional. Como exponen Cuadrat Prats y Pérez-Cueva, “el conocimiento del clima de un lugar, con sus elementos más representativos y la combinación de éstos, constituye uno de los fundamentos básicos de la ciencia climática y objeto de la climatología regional. Por la naturaleza de los aspectos que analiza, los estudios regionales, con frecuencia, son un paso previo, pero fundamental en la investigación del medio atmosférico; constituyen la base necesaria a partir de la cual se abordan otros cambios que se sitúan en la línea de la climatología aplicada” (Cuadrat Prats y Pérez-Cueva, 2007).

Figura 8.4. Delimitación de la "Iberia húmeda" e "Iberia seca" según diversos autores.



Fuente: Rodríguez Guitián y Ramil Rego (2007).

En España los estudios regionales han seguido un proceso de crecimiento irregular, con una primera etapa de producción bibliográfica relativamente abundante pero de valor muy desigual, y una auténtica eclosión de trabajos a partir de los años sesenta, con importantes innovaciones, a ello ha contribuido: el progresivo aumento de la información meteorológica procedente de una red de observatorios cada vez más amplia, la utilización de mapas meteorológicos, las nuevas fuentes de datos que suministran los satélites, los avances de las técnicas y métodos de investigación y el uso de herramientas informáticas. Entre los logros más destacados de la climatología regional destacan la producción de atlas regionales.

En el capítulo sobre *Climatología regional*, escrito por los autores antes mencionados, en el libro *La Climatología española. Pasado, presente y futuro* (Cuadrat Prats y Martín Vide, 2007).se recogen y describen exhaustivamente los trabajos realizados en España en esta línea, especificando que las síntesis climáticas, están "escritas desde una óptica y esquema muy similar, análisis descriptivo de los elementos, clasificación de los

principales tipos de clima y comentarios de la dinámica atmosférica regional”. Se añade en un apartado específico de los atlas climáticos que “en sí mismos constituyen los objetivos o los resultados de los trabajos regionales”.

Sería interesante reflexionar sobre este campo de la climatología más detalladamente, analizando las metodologías empleadas a fin de valorarlas y poner de manifiesto dificultades y posibles carencias, con el fin de ofrecer perspectivas futuras para este tipo de estudios. Debido a nuestro interés personal percibimos que no se destaca suficientemente, ni se distingue la aparición de una línea diferente, vinculada directamente a la consideración espacial de los fenómenos climáticos, y que se comienzan a utilizar las técnicas estadísticas multivariantes que abordaremos a continuación.

Cerraremos esta presentación acercándonos a las regionalizaciones relacionadas con la precipitación en España que utilizan técnicas multivariantes y ofrecen un resultado que delimita regiones homogéneas, lo que nos permitirá comprobar el excelente estado de la cuestión en la investigación relacionada con las ciencias atmosféricas y la climatología en nuestro país.

#### **4.2.1. Regionalizaciones pluviométricas *objetivas***

Este tipo de trabajos pioneros aunque poco numerosos, se abordan en el estudio regional de los climas con una metodología innovadora, vinculada a la climatología analítica y a la obtención de clasificaciones empíricas. Algunas de estas investigaciones se consideran ya *regionalizaciones* y constituyen el precedente en España de nuestra investigación. En este sentido, hay que tener presente que este tipo de aportaciones son escasas para Andalucía e inexistentes desde la geografía, como veremos en el siguiente apartado.

La conclusión a la que llegan Cuadrat Prats y Pérez-Cueva sobre el retroceso del interés por los análisis regionales y la clasificación de los climas en la tradición regional en España, es una realidad a pesar de haber sido ampliamente trabajada en nuestro país, especialmente desde los años sesenta. Las razones pueden ser varias entre las que se encuentran las que hemos citado al inicio de este apartado y a las que hay que sumar la aparición de objetivos de investigación privilegiados, muy distintos de los que caracterizan la climatología tradicional, centrados en la variabilidad y el cambio climático entre otros. Las escalas espaciales que ahora se privilegian son muy contrastadas, por un lado la planetaria o continental para captar el funcionamiento del sistema climático, y por otro la escala de detalle centrada en ámbitos reducidos de

observación. Esto ha puesto de manifiesto la necesidad de utilizar nuevas fuentes de información que sean adecuadas a los nuevos objetos de estudio y escalas espaciales.

En este apartado presentaremos las principales investigaciones españolas dedicadas a la regionalización pluviométrica espacial que han delimitado zonas homogéneas en el territorio. En el cuadro siguiente (Cuadro XX) se recogen los trabajos que aúnan, en gran medida, estas dos características que van a acotar nuestra búsqueda. Nos hemos centrado en ellas porque la detección de patrones espaciales es afín a muchos objetivos y métodos empleados pero no realiza una delimitación espacial en regiones (Andrés *et al.*, 2000; Blasco y Donaire, 2007; De Luís *et al.*, 2000; González Hidalgo *et al.*, 2001; Lana *et al.*, 2004; Martín Vide, 2004; Martínez *et al.*, 2007; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004; Ramis *et al.*, 1999; Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998; Vicente-Serrano *et al.*, 2004). Este tipo de trabajos tienen objetivos afines con nuestra investigación y son de una gran relevancia científica en España, aunque no abordan las clasificaciones espaciales que constituyen el objeto de nuestro estudio.

La investigación sobre regionalizaciones climáticas son iniciadas en 1990 por los geógrafos climatólogos Galán Gallego y Fernández García del Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid, pioneros en este tipo de estudios (Fernández García y Galán Gallego, 1990; Galán Gallego, 1990; Galán Gallego y Fernández García, 1990). A partir de entonces, dos departamentos de física son los que han hecho las aportaciones de mayor relevancia internacional a los estudios de regionalización pluviométrica : el equipo del Departamento de Física e Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Grupo de Meteorología del Departamento de Física de la Universidad de las Islas Baleares.

En la Tabla 4.4 se detallan las principales aportaciones a las regionalizaciones en España; los trabajos se inician en la década de los noventa coincidiendo con el auge que este tipo de investigaciones a nivel internacional. A partir de entonces las publicaciones se hacen más escasas ya que de las 16 publicaciones que destacamos, 12 fueron publicadas en la década de los noventa y 4 a partir del año 2000, de lo que se puede deducir que, en la actualidad, este tipo de estudios no suscita un especial interés científico en nuestro país. Resulta sorprendente que esta línea de investigación, iniciada desde el ámbito de la geografía, haya sido *abandonada* a pesar de ser técnicas especialmente diseñadas para el análisis espacial de variables.

Todos los estudios aplican los métodos multivariantes, generalmente en pasos sucesivos, tal como hemos descrito anteriormente. Aunque no sean muy numerosas las aportaciones, hay que tener en cuenta que se trata de un tipo de investigación que exige un alto nivel de formación estadística y cuyos procedimientos no se encuentran implementados en los programas habituales. El volumen de datos exige unos

conocimientos específicos en el manejo y preparación de la información. Estas razones pueden explicar el alejamiento de algunos geógrafos de estas metodologías.

**Tabla 4.4. Principales aportaciones a las regionalizaciones en España**

Año	Temática	Ámbito espacial	Escala temporal	Técnica	Autores
1990	Precipitación	Meseta meridional	Anual/estacional	AC AD	(Fernández García y Galán Gallego, 1990)
1990	Precipitación	Meseta meridional	Anual/estacional	AC	(Galán Gallego y Fernández García, 1990)
1991	Precipitación	Cataluña	Mensual	¿?	(Serra <i>et al.</i> , 1991)
1991	Precipitación	Cataluña	Mensual	AC	(Periago <i>et al.</i> , 1991)
1993	Precipitación	Valle del Tietar	¿		(Fernández García y Galán Gallego, 1993)
1993	Precipitación	Mallorca	Diaria	ACP/AC	(Sumner <i>et al.</i> , 1993)
1994	Precipitación	Meseta septentrional	Anual	ACP/ AD	(Rasilla Álvarez, 1994)
1994	Precipitación	Norte peninsular	Mensual	ACP/AC	(Rasilla Alvarez, 1994)
1994	Precipitación	Cataluña	Mensual	ACP	(Fernández Mills <i>et al.</i> , 1994)
1995	Precipitación	España	Mensual	ACP	(Fernández Mills, 1995)
1999	Precipitación	Litoral mediterráneo y Baleares	Diaria	ACP/AC	(Romero <i>et al.</i> , 1999a)
1999	Precipitación	Litoral mediterráneo y Baleares	Diaria	ACP/AC	(Romero <i>et al.</i> , 1999b)
2002	Precipitación	Valencia	Diaria	ACP/AC	(Peñarrocha <i>et al.</i> , 2002)
2006	precipitación	España	Anual	AC	(Sanz Donaire y Jiménez Blasco, 2006)
2008	Viento	Navarra	Diaria	ACP/AC	(Jiménez <i>et al.</i> , 2008)
2011	Precipitación y temperatura	Andalucía	Diaria	ACP/AC	(Argüeso <i>et al.</i> , 2011)

**AC:** Análisis de conglomerados; **ACP:** Análisis de Componentes Principales; **AD:** Análisis Discriminante

Fuente: Elaboración propia

Posiblemente, la aparición de programas como R y la necesidad de trabajar grandes bases de datos sea un estímulo para llevar a cabo un *reciclaje* en la formación o una actualización en los temarios universitarios, algo que por el momento sólo aparece *tímidamente*. Los cursos de formación en este software, organizados por la Asociación Española de Climatología, son un ejemplo de cómo dar respuesta a esta necesidad y de cómo divulgar metodologías de gran utilidad para el sistema universitario.

Consideramos que los estudios de regionalización de variables climáticas y del medio físico, deberían ser incorporados por los geógrafos ya que están en sintonía con las principales líneas de investigación que se están desarrollando a nivel internacional y que ofrecen grandes potencialidades para la disciplina.

Así pues, intentamos recuperar una *tradición olvidada* en la climatología geográfica y regional y también profundizar en el conocimiento del clima de Andalucía. A continuación analizaremos algunos de los trabajos realizados en este ámbito, como forma de conocer la situación actual y contextualizar nuestra investigación.

#### **4.2.2. Regionalizaciones pluviométricas de Andalucía**

En este apartado presentamos una selección de las regionalizaciones pluviométricas llevadas a cabo y que se ajustan a dos criterios: que cubran todo el territorio andaluz y que delimiten áreas homogéneas desde un punto de vista pluviométrico. Estos criterios limitan la búsqueda, aunque pueden existir trabajos similares realizados en Andalucía para ámbitos más reducidos dentro de la región; un ejemplo podría ser la regionalización efectuada en la provincia de Málaga con el fin de estimar los máximos anuales diarios de precipitación, delimitando zonas homogéneas a partir de las que estimar períodos de retorno. (García-Marín et al., 2011) Otro caso sería la regionalización de la precipitación diaria en el valle del Guadalquivir mediante métodos estocásticos (Moreno y Roldin, 1999). Se trata de estudios realizados con el fin de identificar patrones espaciales de comportamiento o relaciones entre la precipitación y la circulación atmosférica (Moreno García, 1986; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2002; Ramos Calzado, 2003).

Los trabajos dirigidos a delimitar regiones climáticas y a regionalizar la precipitación en Andalucía, desde la perspectiva que estamos adoptando en nuestro trabajo, son escasos. No obstante, podemos citar algunas regionalizaciones existentes distinguiendo las que han sido llevadas a cabo desde las administraciones pública de las realizadas en la universidad a través de proyectos de investigación científica.

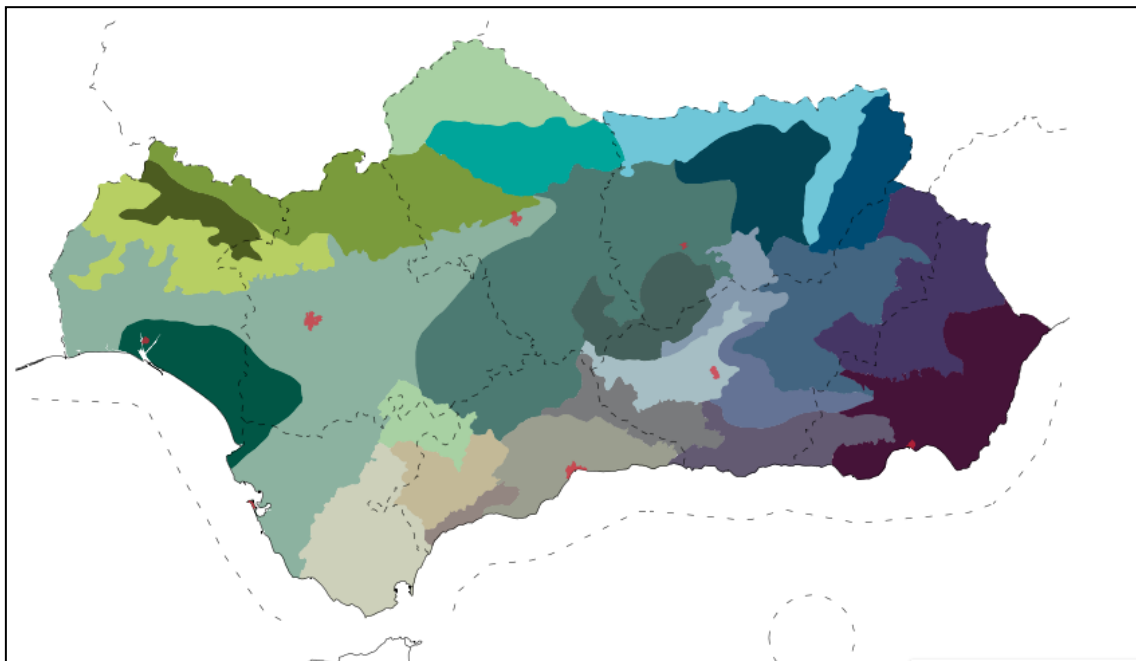
##### **4.2.2.1. Aportaciones realizadas por organismos públicos**

Desde las administraciones públicas se han llevado a cabo estudios que intentan dar respuesta a la necesidad de síntesis de información climática en la que se basan muchas aplicaciones, estimaciones, informes, etc. Dado su carácter eminentemente práctico, resulta difícil acceder a la documentación que recoge los métodos con los que se han elaborado estas regionalizaciones ya que se queda en el ámbito de las propias instituciones.

**a) Consejería de Medioambiente de la Junta de Andalucía: Mapa de áreas de pluviometría homogénea en Andalucía**

La Consejería de Medio Ambiente ha realizado un *mapa de áreas de pluviometría homogénea en Andalucía* (Figura 10.4) que se encuentra disponible en la REDIAM y que responde en gran medida a los objetivos que perseguimos en este trabajo. Está disponible en la web ([http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM\\_areas\\_pluviometria\\_homogenea](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM_areas_pluviometria_homogenea)). Las 26 áreas pluviométricas identificadas se utilizan para el desarrollo del cálculo de la erosividad de la lluvia, variable que interviene en la estimación de las pérdidas de suelo.

**Figura 9.4. Mapa de áreas de pluviometría homogénea en Andalucía**



Fuente: REDIAM

No hemos podido acceder a la metodología aplicada en esta regionalización. Las zonas que aparecen en la figura no se identifican ni describen y ni siquiera existe una leyenda que acompañe al mapa. Por lo tanto su utilidad es limitada ya que no permite conocer las características de cada una de las zonas pluviométricas de Andalucía.

**b) Precipitaciones máximas de la España peninsular. Ministerio de Fomento (1999)**

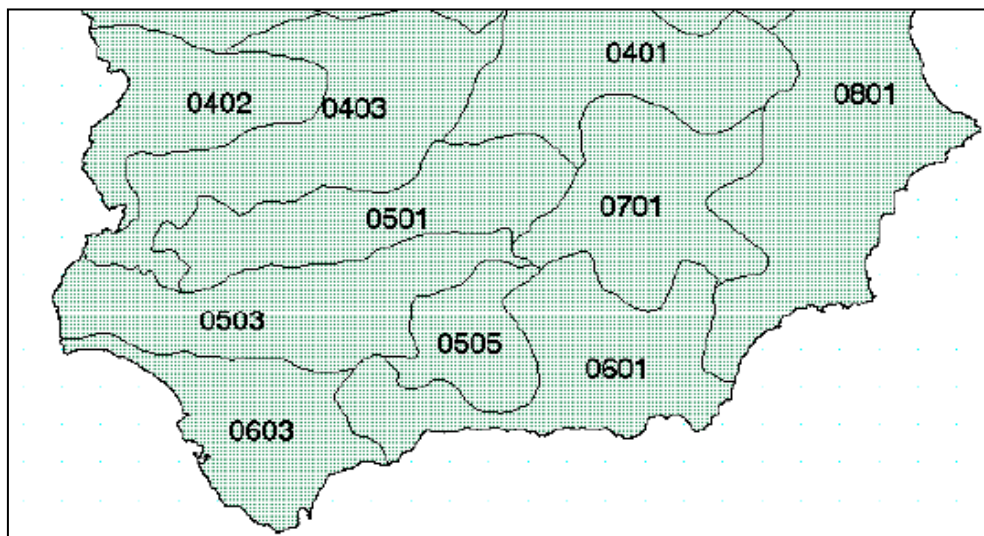
El objetivo de esta publicación es proporcionar un método que permita obtener “un valor de las *Máximas Lluvias Diarias* en la España Peninsular que sirva de base de

partida para el cálculo de los caudales a desaguar por los pequeños cauces existentes en las obras de carreteras, supliendo así la ausencia de aforos en los mismos”(Fomento, 1999). Para este fin se lleva a cabo un *enfoque regional* que asume la existencia de zonas homogéneas respecto a ciertas características estadísticas, lo que permite aprovechar la información disponible en cada una de ellas. Los trabajos precedentes utilizaban exclusivamente los datos puntuales de las estaciones pluviométricas.

Este procedimiento de *regionalización* nada tiene que ver con los métodos multivariantes habituales, en la monografía no se ofrecen muchos detalles acerca de cómo se llegan a delimitar las áreas pluviométricas, tan sólo se especifica que “el método regional adoptado, denominado tradicionalmente índice de avenida, asume que la variable y resultante de dividir en cada estación los valores máximos anuales por su media, sigue idéntica distribución de frecuencia en toda la región considerada. Los parámetros de dicha distribución, una vez seleccionado el modelo de ley, son obtenidos a partir del conjunto de datos de las estaciones de la región, mientras que el valor local de la media P se estima exclusivamente a partir de los datos de cada una de las estaciones (...) tratando de agrupar zonas del territorio con características meteorológicas comunes y analizando de forma complementaria los Cv (coeficientes de variación) muestrales. Posteriormente la homogeneidad de las regiones fue contrastada mediante un test estadístico de Chi-Cuadrado.”

Este estudio delimita un total de 26 zonas para toda España, obtenidas a partir de 1.545 estaciones que cumplen el requisito de ofrecer 30 o más años de registros. En la figura siguiente (Figura 11.4) se recogen las que corresponden al ámbito andaluz.

**Figura 10.4.Regiones geográficas con características meteorológicas en territorio andaluz (Selección sobre la división para la España Peninsular)**



Fuente: Ministerio de Fomento (1999)



Este estudio delimita regiones homogéneas pluviométricas obtenidas a partir del cociente entre las precipitaciones máximas y la media de precipitación. Sin embargo, no consta una descripción detallada sobre las características de cada una de ellas, por lo que su utilidad como regionalización pluviométrica se reduce a una representación cartográfica.

#### 4.2.2.2. Regionalizaciones en el ámbito académico

Varis grupos de investigación universitarios han desarrollado, con financiación estatal, estudios con diferentes objetivos pero que han obtenido entre sus resultados, regionalizaciones pluviométricas para Andalucía. Con más de una década de diferencia entre el primero, publicado en 1999 y el último, recientemente publicado en 2015, han sido desarrollados por investigadores de prestigio nacional e internacional, adscritos los dos primeros a departamentos de física dedicados a las ciencias atmosféricas y el último al Departamento de Geografía de la Universidad de Granada.

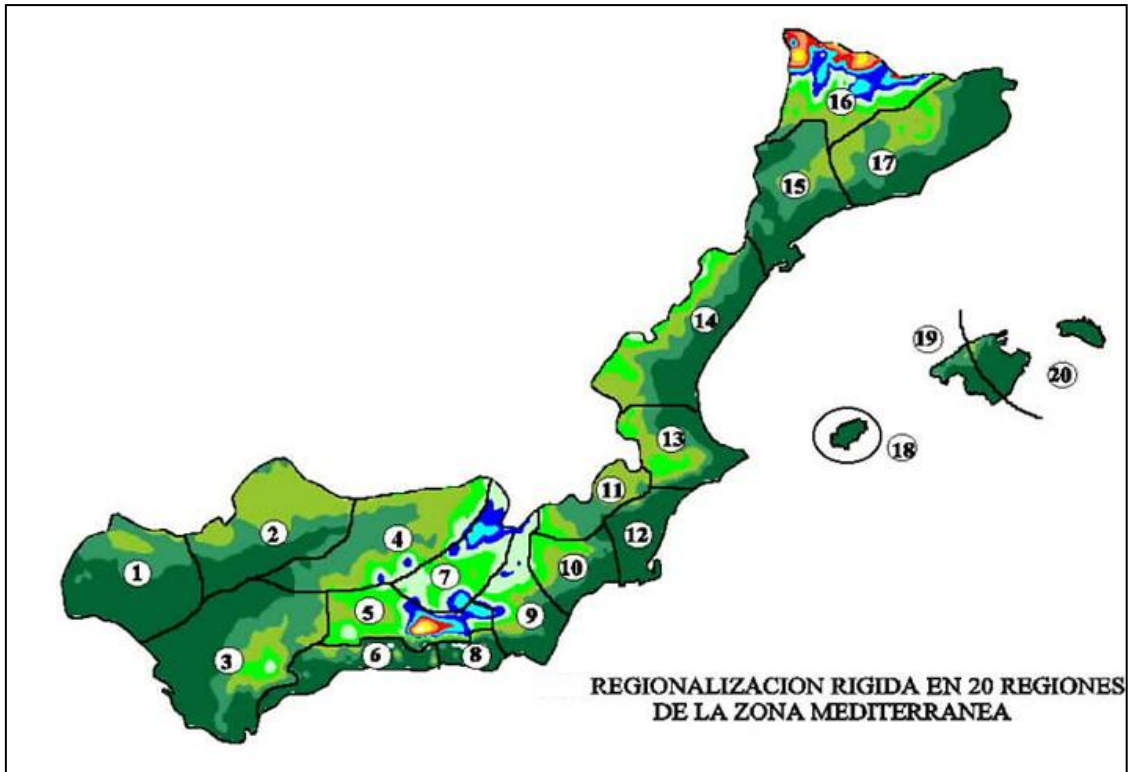
##### a) Regionalización *PRECLIMED* (Romero et al., 1999b)

El grupo de Meteorología del Departamento de Física de la Universidad de las Islas Baleares (Palma de Mallorca) realizó entre 1999 y 1998 uno de los proyectos más completos en cuanto a regionalizaciones se refiere, además de otros muchos avances y contribuciones al conocimiento de la precipitación en el ámbito mediterráneo, caracterizado por su gran complejidad pluviométrica. Hay que destacar que ha sido la primera propuesta que abarca el territorio andaluz. El proyecto denominado *PRECLIMED Organización Espacial y Temporal de la Precipitación en el Litoral Mediterráneo Español* (Proyecto CICYT CLI95-1846, tenía como principal objetivo “caracterizar el régimen de precipitación diaria y las configuraciones meteorológicas que lo producen, propios del litoral mediterráneo español”).

En los trabajos publicados a raíz de este proyecto entre 1998-1999 (Romero et al., 1998; Romero y Ramis, 1999; Romero et al., 1999a; Romero et al., 1999b) se ensayan diferentes procedimientos de regionalización en pasos múltiples combinando el ACP y AC. No analizamos el contenido de esta investigación ya que las diferentes propuestas de regionalización que presentan serán tratadas en el apartado de resultados de nuestro estudio, con el fin de contrastar nuestra regionalización pluviométrica.

La siguiente figura muestra con mayor detalle la regionalización, obtenida en este proyecto (<http://www.uib.cat/depart/dfs/meteorologia/METEOROLOGIA/cdpreclim>)

**Figura 11.4. Áreas afines de precipitación diaria en la España mediterránea resultante de un proceso de regionalización superpuesta (20 grupos).**



Fuente: Romero y otros (1999b)

Esta regionalización refleja la fuerte organización espacial que presentan las precipitaciones como resultado de los contrastes geográficos de la región y la influencia del Atlántico y Mediterráneo. El valor de las aportaciones de este proyecto y su calidad científica son indiscutibles pues incluye una descripción de los factores explicativos principales de cada una de las áreas que se delimitan. No obstante, se echa en falta una caracterización estadística, climática y geográfica de las zonas, dirigida a esclarecer los factores determinantes, a estas escalas, que determinan el comportamiento pluviométrico diferenciado. En un territorio de tanta complejidad, con una variabilidad y unas diferencias tan acusadas, como ponen de manifiesto las 10 regiones identificadas, constituye un campo abierto para continuar investigando.

#### **b) Regionalización PROCLIAN (Argüeso *et al.*, 2011)**

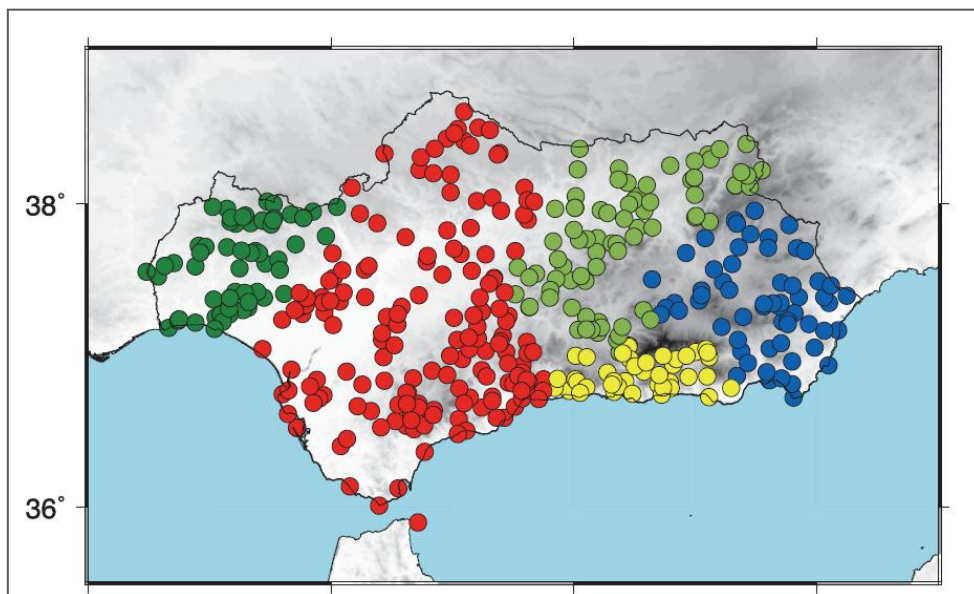
El Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Granada, en el marco de dos proyectos coordinados por Castro Díez, *Impacts of the climate variability on the anual and seasonal prediction of the Iberian rivers flow* (PREDICA) (CGL2007-61151/CLI) y *Projections of Climate Change of high resolution in Andalusia through a mesoscale model* (PROCLIAN) (P06-RNM-01622), obtienen una regionalización pluviométrica y termométrica de Andalucía, independientes para cada variable, mediante una

metodología en múltiples etapas consistente en la aplicación consecutiva de PCA y dos algoritmos de CA.

A partir de los valores diarios de una década (período 1990-99) se aplicó un ACP en S-modo con rotación *varimax* de los componentes significativos resultantes para aumentar la coherencia espacial. Las cargas normalizadas giradas fueron procesadas para clasificar las estaciones mediante un AC en dos etapas, la primera con un método de aglomeración jerárquico para establecer el número de grupos y obtener sus *semillas*. En la siguiente fase éstas se utilizan aplicando un AC no jerárquico de k-medias para obtener el número óptimo de clases. Los detalles del proceso pueden consultarse en el artículo de los autores *Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization* (Argüeso et al., 2011).

En la siguiente figura (Figura 13.4) se representa, con diferentes colores, el resultado de la regionalización pluviométrica y las estaciones pertenecientes a cada una de las regiones pluviométricas definidas. El objetivo final del trabajo no es sólo realizar una división climática, sino también validar las salidas del modelo *Weather Research and Forecasting model (WRF)* en los ámbitos homogéneos identificados. El WRF mejora la resolución a 10 km de anidado sobre un dominio del modelo de reanálisis ERA-40 del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Re-Analysis (ERA-40)*). Por esta razón, las regiones no se caracterizan ni delimitan sus fronteras espacialmente, ya que el objetivo es comparar por zonas los valores de las estaciones con los que proporciona el modelo WRF.

Figura 12.4. Regionalización pluviométrica de Andalucía de Argüeso y otros (2011).



Fuente:??

La regionalización pluviométrica final genera, como comentan los propios autores, “una estructura coherente de divisiones climáticas que se corresponde con la topografía y las características principales de la circulación dominante” y que resulta casi idéntica con la propuesta por Romero et al. (1999) salvo “pequeñas diferencias causadas, probablemente, por la inclusión de toda la costa mediterránea española en su estudio”.

**c) Sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España)(Gómez-Zotano *et al.*, 2015)**

Como expresan los geógrafos, autores de este reciente trabajo, “ante la carencia de clasificaciones regionales del clima mediterráneo en general, y de Andalucía en particular, en esta investigación.”. Su trabajo supone una novedosa aportación al clima de Andalucía n se realiza, por primera vez, una identificación, clasificación y caracterización climática de carácter semiautomática e interescalar, de tipo empírico objetivo. Como principal resultado se presenta la cartografía y la caracterización de 5 regiones y 21 tipos climáticos. Ante la ausencia de una propuesta basada en procedimientos rigurosos que haya conseguido una aceptación y difusión generalizada para la región, su trabajo constituye una novedosa aportación al clima de Andalucía

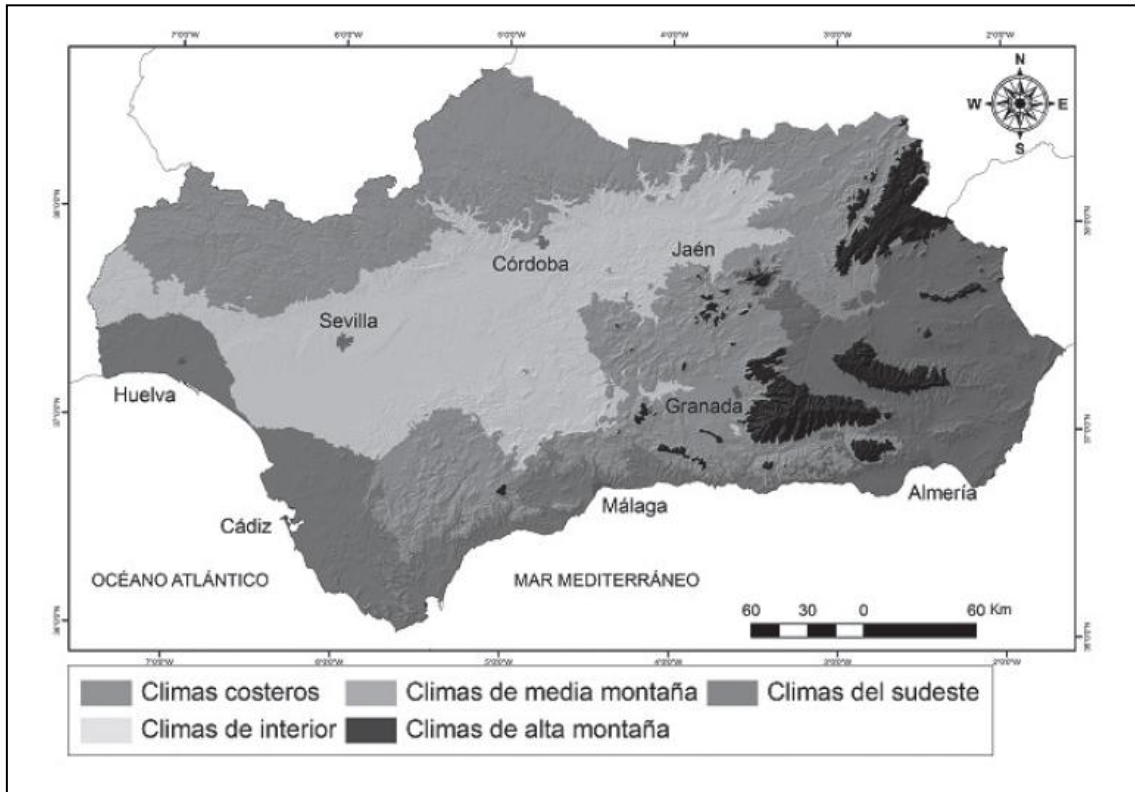
Incluimos este trabajo ya que el proceso metodológico seguido está basado en la conjugación de la estadística multivariante y el criterio experto, a partir de las variables climáticas principales (Temperatura media anual, Temperatura mínima anual, Temperatura mínima mensual, Temperatura máxima anual, Temperatura máxima mensual, Precipitación anual, Precipitación mensual, Evapotranspiración, Insolación real, Índice de aridez, para el período 1971-2000/2008, (salvo el índice de continentalidad, que proviene de datos del período 1961-1990).

Las técnicas se utilizan en un sistema de doble análisis de clasificación, empleando un tipo no supervisado en el que las variables estandarizadas se han sometido al algoritmo de clasificación *ISODATA* implementado en el programa ENVI 6 de análisis geoespacial y tratamiento de imágenes de satélite. Los autores comentan que se trata de “un análisis de clasificación restringido (el número de clases en la que se estructura la muestra es definido previamente por el usuario) y de reagrupamiento, ya que realiza un primer agrupamiento que se va refinando iterativamente. Como resultado de dicho análisis, se obtienen una serie de grupos de referencia. (...) El clasificador que se ha utilizado en esta ocasión ha sido *Minimum distance*”.

La última etapa del procedimiento se realiza mediante la *reflexión del experto* en la que se validan estos grupos en relación a la distribución geográfica, composición y adecuado agrupamiento de las regiones de referencia. Esta metodología ha permitido

la identificación de las Regiones climáticas de Andalucía que aparecen en la siguiente figura (Figura 14.4):

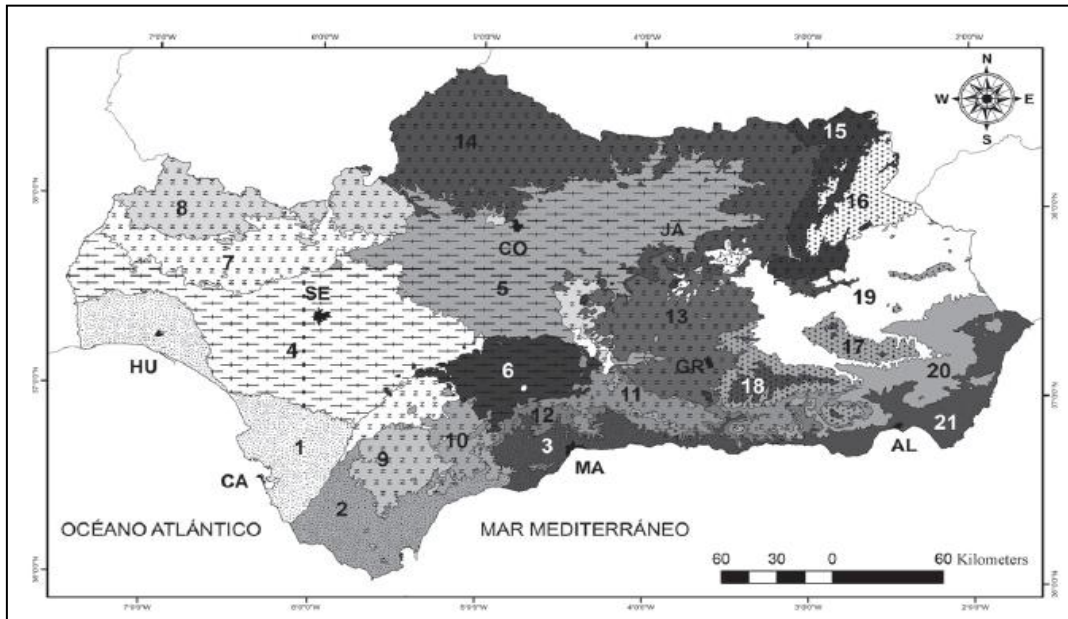
**Figura 13.4. Clasificación regional de los climas de Andalucía.**



Fuente: Gómez-Zotano y otros (2015)

Se han identificado cinco regiones climáticas para el conjunto de Andalucía. Atendiendo a los factores y elementos climáticos determinantes, se propone la siguiente clasificación con cinco regiones climáticas 8 (Figura 15.4) y veintinueve tipos climáticos.

Figura 14.4. Clasificación comarcal de los climas de Andalucía



**Región de climas costeros**

- 1 Clima mediterráneo oceánico subhúmedo del litoral de barlovento
- 2 Clima mediterráneo de influencia marítima subhúmedo-húmedo del Estrecho de Gibraltar
- 3 Clima mediterráneo seco-subhúmedo templado del litoral de sotavento

**Región de climas de interior**

- 4 Clima mediterráneo semi-oceánico del Bajo Guadalquivir
- 5 Clima mediterráneo semi-continental del Medio Guadalquivir
- 6 Clima mediterráneo semi-continental de las depresiones de Antequera y Padul

**Región de climas de media montaña**

- 7 Clima mediterráneo semi-oceánico (subhúmedo) del piedemonte peri-bético occidental
- 8 Clima mediterráneo semi-oceánico (subhúmedo) de las sierras peri-béticas occidentales
- 9 Clima mediterráneo oceánico (húmedo) de la Serranía de Ronda occidental
- 10 Clima mediterráneo semi-oceánico de la Serranía de Ronda oriental
- 11 Clima mediterráneo semi-continental de media montaña perimediterránea
- 12 Clima mediterráneo templado de valles y laderas perimediterráneas
- 13 Clima mediterráneo continental de las sierras, pasillos y depresiones béticas centrales
- 14 Clima mediterráneo continental de sierras y lomas circumbéticas orientales
- 15 Clima mediterráneo continental de la media montaña prebética

**Región de climas de alta montaña**

- 16 Clima mediterráneo frío de cimas prebéticas
- 17 Clima mediterráneo frío de cimas béticas
- 18 Clima mediterráneo periglaciario de altas cumbres béticas

**Región de climas del Sudeste**

- 19 Clima continental mediterráneo seco-semiárido de los altiplanos y piedemontes orientales
- 20 Clima mediterráneo semiárido-seco de sierras y piedemontes surorientales
- 21 Clima mediterráneo semiárido-árido del litoral del extremo Sudeste

Fuente: Gómez-Zotano y otros (2015)

En relación al trabajo que nos planteamos, proponemos algunas reflexiones acerca de las clasificaciones y regionalizaciones climáticas:

- Establecer un sistema de clasificación climática es ciertamente una tarea difícil que, como expuso Contreras Arias en 1942, debe cumplir algunos requisitos que son difícilmente realizables a escala regional. Por esta razón, surge la necesidad de denominar a este tipo de estudios regionalizaciones. Algunas cuestiones están relacionadas con la *universalidad* de los tipos que se definen, al menos para el ámbito mediterráneo, con referencias a otros ámbitos geográficos de Andalucía, lo que dificulta la comparación con otros territorios, incluso limítrofes.
- Por otro lado, la denominación de tipos climáticos como *comarcales* suscita la cuestión de si en los límites de las zonas, una de las cuestiones más complejas que se presentan en este tipo de estudios, han podido intervenir criterios no estrictamente climáticos o basados en el análisis espacial de las variables.
- Echamos en falta disponer de una información más detallada sobre los algoritmos y el proceso de entrada y formación de matrices, por la complejidad que supone combinar tantas variables. Es frecuente en los programas comerciales disponer de opciones implementadas que, a veces, resultan *cerradas* y que pueden limitar las posibilidades procedimentales de los análisis.
- Disponer de los resultados y validaciones estadísticas de estos procesos, siempre es una información valiosa para conocer la estabilidad de los resultados de cara a investigaciones futuras. Los autores comentan que la validación de los resultados obtenidos en este estudio se hizo a partir de “un sistema de doble clasificación que persigue la máxima robustez en los resultados, tanto desde el punto de vista matemático como experto. Este sistema permite realizar un análisis exploratorio de los datos mediante la clasificación no supervisada, y un refinamiento posterior de los mismos a partir del conocimiento experto gracias a la clasificación supervisada. Aquellos matices introducidos por criterio experto en el análisis de clasificación supervisada que no tengan refrendo estadístico no son recogidos en la clasificación resultante”. Aunque estos resultados prueban el rigor del método empleado, sería de gran utilidad para nuestra investigación poder disponer de sus valores para cada una de las regiones, a fin de poder contrastar resultados más allá de una mera comprobación visual.

La realización de esta clasificación para Andalucía era muy necesaria y estaba pendiente en la investigación climática de la región. Su innegable utilidad constituye una gran contribución que podemos considerar aún mayor, si proviene del ámbito de la geografía.



### 4.3. Consideraciones finales

Podemos concluir señalando que en España y en Andalucía se han realizado importantes investigaciones dirigidas a la regionalización de la precipitación, como demuestra el alto nivel de las publicaciones y la frecuencia con que son citadas en artículos internacionales de gran impacto. En un territorio en el que la complejidad geográfica y climática añade una mayor dificultad al estudio de la precipitación, el valor de estos trabajos es aún más significativo.

Pensamos que este tipo de investigaciones tiene un gran porvenir, algo quizás impensable hace unos años en los que la climatología regional acusaba un cierto declive. Quedan aún muchos territorios por estudiar como se desprende del cuadro XX y, por otro lado, deben compararse metodologías y resultados, incluso en las mismas zonas, con el fin de evaluar la estabilidad de estas regionalizaciones, algo que hoy en día es relativamente *sencillo* debido a las nuevas posibilidades de procesamiento y disponibilidad de datos.

A pesar que existe una mayor información, uno de los principales problemas que aparecen en los estudios de climatología regional sigue siendo la ausencia de observatorios en extensas áreas, especialmente en zonas de montaña, donde las variaciones espaciales de los elementos climáticos son más acusadas. Es preciso, por ello, la elaboración de modelos que permitan extrapolar los datos puntuales a superficies más o menos extensas, algo que desde el campo de la hidrología constituye un ámbito de investigación básica.

Galán Gallego pone de manifiesto cómo en la investigación actual, a pesar de ser escasos, son especialmente adecuados estos procedimientos desde una perspectiva geográfica. Las principales razones que esgrime son los propios objetivos de las regionalizaciones fundamentales en la investigación climatológica tales como:

- Analizar la variabilidad espacial de los principales elementos climáticos.
- Determinar los factores de distribución espacial y las funciones que los correlacionan
- Delimitar las diferencias y similitudes existentes entre los distintos sectores espaciales.

Los procedimientos consisten generalmente en la elaboración de modelos de distribución espacial y en el establecimiento de áreas climáticamente homogéneas (Galán Gallego, 1997). Muchas de estas cuestiones siguen abiertas y requieren la aplicación de nuevas metodologías, así como perfeccionar la delimitación espacial de



las regionalizaciones mediante técnicas tales como la interpolación espacial que aporten rigor y precisión cartográfica a estos límites.

En las últimas décadas el número de estudios dedicados a las regionalizaciones se ha incrementado internacionalmente debido a que existe una mayor sensibilización por el cambio climático. La importancia de fenómenos extremos tales como las sequías y la gestión de los recursos hídricos, en general, hacen necesario disponer de regionalizaciones climáticas para su gestión (Liu *et al.*, 2015; Martín-Vide y Gómez, 1999; Vicente-Serrano *et al.*, 2004). Pensamos por ello que esta línea de investigación puede revitalizarse en un futuro ante la urgencia de dar respuesta a las políticas de evaluación y seguimiento ambiental.

Consideramos que este tipo de estudios deben mejorar sus resultados y descripciones para que resulten útiles y puedan servir en la gestión, la planificación territorial y en otros campos de investigación. Retomar la dimensión geográfica de las regionalizaciones del medio físico, en el contexto de cambio global, puede abrir nuevos horizontes de gran interés científico, y múltiples aplicaciones para los profesionales de la geografía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOT, J. & MAROHASY, J. 2015. Improving monthly rainfall forecasts using artificial neural networks and single-month optimisation: a case study of the Brisbane catchment, Queensland, Australia. *Water Resources Management VIII*, 196, 3.
- AL-ANAZI, A. F. & GATES, I. D. 2010. Support vector regression for porosity prediction in a heterogeneous reservoir: A comparative study. *Computers and Geosciences*, 36, 1494-1503.
- AMBÜHL, J., CATTANI, D. & ECKERT, P. 1997. Classification of meteorological patterns. *En: GERSTNER, W., GERMOND, A., HASLER, M. & NICLOUD, J.-D. (eds.) Artificial Neural Networks — ICANN'97*. Springer Berlin Heidelberg, 1119-1124.
- ANDRÉS, M., TOMÁS, C. & DE PABLO, F. 2000. Spatial patterns of the daily non-convective rainfall in Castilla y León (Spain). *International Journal of Climatology*, 20, 1207-1224.
- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- ASONG, Z. E., KHALIQ, M. N. & WHEATER, H. S. 2015. Regionalization of precipitation characteristics in the Canadian Prairie Provinces using large-scale atmospheric covariates and geophysical attributes. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 875-892.
- AVANTRA GEOSYSTEMS. 2006. *MI-SDM (MapInfo Spatial Data Modeller) v2.51* [Online]. Disponible: <http://www.avantra.com.au/mi-sdm.htm> 2013].
- AYOADE, J. O. 1976. On the use of multivariate techniques in climatic classification and regionalization. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 24, 257-267.
- BADR, H. S., ZAITCHIK, B. F. & DEZFULI, A. K. 2015. A tool for hierarchical climate regionalization. *Earth Science Informatics*, 1-10.
- BATER, C. W. & COOPS, N. C. 2009. Evaluating error associated with lidar-derived DEM interpolation. *Computers and Geosciences*, 35, 289-300.
- BLASCO, B. J. & DONAIRE, J. J. S. Pautas espaciales en la variabilidad de las precipitaciones españolas. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 2007.
- BOOKER, D. J. & SNELDER, T. H. 2012. Comparing methods for estimating flow duration curves at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 434-435, 78-94.
- BREIMAN, L. 1984. *Classification and regression trees*, Chapman & Hall/CRC.
- BREIMAN, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.
- BREIMAN, L., FRIEDMAN, J., STONE, C. J. & OLSHEN, R. A. 1984. *Classification and Regression Trees*, Belmont, CA, Chapman and Hall/CRC.

- COMRIE, A. C. & GLENN, E. C. 1998. Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability. *Climate Research*, 10, 201-215.
- CONTRERAS ARIAS, A. 1942. The classification of climates. *Monthly Weather Review*, 70, 249-253.
- CORTES, C. & VAPNIK, V. 1995. Support-Vector Networks. *Machine Learning*, 20, 273-297.
- CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) 2007. *La Climatología española. Pasado, presente y futuro* Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza
- CUADRAT PRATS, J. M. & PÉREZ-CUEVA, A. 2007. Climatología regional. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 157-162.
- CHAN, J. C.-W. & PAELINCKX, D. 2008. Evaluation of Random Forest and Adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2999--3011.
- CHEN, S. K., JANG, C. S. & PENG, Y. H. 2013. Developing a probability-based model of aquifer vulnerability in an agricultural region. *Journal of Hydrology*, 486, 494-504.
- CHRISTOPH, M., K., P. E., PATRICK, H. & HERBERT, F. 2003. Comparative analysis of spatial and seasonal variability: Austrian precipitation during the 20th century. *International Journal of Climatology*, 23, 1577-1588.
- DAMBUL, R. & JONES, P. 2008. Regional and temporal climatic classification for Borneo. *Geografía*, 5, 1-25.
- DAVIS, J. B. & ROBINSON, G. R. 2012. A geographic model to assess and limit cumulative ecological degradation from marcellus shale exploitation in New York, USA. *Ecology and Society*, 17.
- DE LUÍS, M., RAVENTÓS, J., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., SÁNCHEZ, J. R. & CORTINA, J. 2000. Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain). *International Journal of Climatology*, 20, 1451-1469.
- DEGAETANO, A. T. 2001. Spatial grouping of United States climate stations using a hybrid clustering approach. *International Journal of Climatology*, 21, 791-807.
- DEMŠAR, U., HARRIS, P., BRUNSDON, C., FOTHERINGHAM, A. S. & MCLOONE, S. 2013. Principal component analysis on spatial data: An overview. *Annals of the Association of American Geographers*, 103, 106-128.
- DEZFULI, A. 2011. Spatio-temporal variability of seasonal rainfall in western equatorial Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, 57-69.
- DOUGHERTY, G. 2013. *Pattern recognition and classification: An introduction*, New York, Springer Science & Business Media,196.

- ESTEBAN- PARRA, M. J., RODRIGO, F. S. & CASTRO-DIEZ, Y. 1998. Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology*, 18, 1557-1574.
- ESTEBAN, P., MARTIN-VIDE, J. & MASES, M. 2006. Daily atmospheric circulation catalogue for western Europe using multivariate techniques. *International Journal of Climatology*, 26, 1501-1515.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. & GALÁN GALLEGO, E. 1993. Las precipitaciones en el valle del Tiétar. Aspectos metodológicos. En: URV (ed.) *Aportaciones en homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa*. Tarragona, Universidad Rovira i Virgili. Unidad de Geografía, 75-90.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. & GALÁN GALLEGO, E. 1990. Propuesta de una regionalización pluviométrica de la Meseta Meridional. En: AGE, G. D. M. C. D. L. (ed.) *Los sistemas de información geográficos y la toma de decisiones territoriales*. Palma de Mallorca, Asociación de Geógrafos Españoles, 311-334.
- FERNÁNDEZ MILLS, G. 1995. Principal component analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 50, 169-183.
- FERNÁNDEZ MILLS, G., LANA, X. & SERRA, C. 1994. Catalanian precipitation patterns: Principal component analysis and automated regionalization. *Theoretical and Applied Climatology*, 49, 201-212.
- FOMENTO, M. D. 1999. *Máximas lluvias diarias en España Peninsular*, Madrid, Ministerio de Fomento. Disponible: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/ABE22688-F967-4902-BA96-51FE8AB76145/55856/0610300.pdf>.
- FONT TULLOT, I. 2000. *Climatología de España y Portugal*, Ediciones Universidad de Salamanca.
- FOVELL, R. G. & FOVELL, M.-Y. C. 1993. Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis. *Journal of Climate*, 6, 2103-2135.
- GALÁN GALLEGO, E. El análisis discriminante: una propuesta válida para la renovación del método sinóptico. En: (AGE), G. D. M. C., ed. *Los sistemas de información geográficos y la toma de decisiones territoriales*, 1990 Palma de Mallorca. Asociación de Geógrafos Españoles.
- GALÁN GALLEGO, E. 1997. Técnicas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica en la Climatología española: estado de la cuestión y ejemplos de aplicación. *Lurralde inves. esp.*, 20, 135-168
- GALÁN GALLEGO, E. & FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Propuesta de una regionalización pluviométrica de la Meseta meridional. Actas del IV Coloquio de Geografía Cuantitativa, 1990 Palma de Mallorca, AGE y UIB.
- GARCÍA-MARÍN, A. P., AYUSO-MUÑOZ, J. L., TAGUAS-RUIZ, E. V. & ESTEVEZ, J. 2011. Regional analysis of the annual maximum daily rainfall in the province of Malaga (southern Spain) using the principal component analysis. *Water and Environment Journal*, 25, 522-531.

- GHIMIRE, B., ROGAN, J., GALIANO, V., PANDAY, P. & NEETI, N. 2012. An evaluation of bagging, boosting, and random forests for land-cover classification in Cape Cod, Massachusetts, USA. *GIScience and Remote Sensing*, 49, 623-643.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).
- GONG, X. & RICHMAN, M. B. 1995. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. *Journal of Climate*, 8, 897-931.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J. C., DE LUÍS, M., RAVENTÓS, J. & SÁNCHEZ, J. R. 2001. Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 21, 843-860.
- GRIGG, D. 1965. The Logic of Regional Systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 55, 465-491.
- GUIRGUIS, K. J. & AVISSAR, R. 2008. A precipitation climatology and dataset intercomparison for the western United States. *Journal of Hydrometeorology*, 9, 825-841.
- GÜNNEMANN, S., KREMER, H., LAUFKÖTTER, C. & SEIDL, T. 2012. Tracing evolving subspace clusters in temporal climate data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 24, 387-410.
- HALKIDI, M., BATISTAKIS, Y. & VAZIRGIANNIS, M. 2001. On clustering validation techniques. *Journal of Intelligent Information Systems*, 17, 107-145.
- HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2004. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management*, 34, S39-S60.
- HERRERA, M., TORGO, L., IZQUIERDO, J. & PÉREZ-GARCÍA, R. 2010. Predictive models for forecasting hourly urban water demand. *Journal of Hydrology*, 387, 141-150.
- HOFFMAN, F. M., HARGROVE, W. W., ERICKSON, D. J. & OGLESBY, R. J. 2005. Using clustered climate regimes to analyze and compare predictions from fully coupled General Circulation Models. *Earth Interactions*, 9, 1-27.
- JIMÉNEZ, P. A., GARCÍA-BUSTAMANTE, E., GONZÁLEZ-ROUCO, J. F., VALERO, F., MONTÁVEZ, J. P. & NAVARRO, J. 2008. Surface wind regionalization in complex terrain. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 308-325.
- JOHNSTON, R. J. 1968. Choice in Classification: The Subjectivity of Objective Methods. *Annals of the Association of American Geographers*, 58, 575-589.
- JOLLIFFE, I. T. & PHILIPP, A. 2010. Some recent developments in cluster analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35, 309-315.

- KEMP, L. D., BONHAM-CARTER, G. F. & RAINES, G. L. 1999. *Arc-WofE: Arcview extension for weights of evidence mapping* [Online]. Disponible: <http://www.ige.unicamp.br/wofe> 2013].
- KISI, O. & SANIKHANI, H. 2015. Prediction of long-term monthly precipitation using several soft computing methods without climatic data. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a.
- LANA, X., MARTÍNEZ, M. D., SERRA, C. & BURGUEÑO, A. 2004. Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime in Catalonia (northeastern Spain), 1950-2000. *International Journal of Climatology*, 24, 613-641.
- LATT, Z., WITTENBERG, H. & URBAN, B. 2015. Clustering hydrological homogeneous regions and neural network based index flood estimation for ungauged catchments: an example of the Chindwin River in Myanmar. *Water Resources Management*, 29, 913-928.
- LIMONES RODRÍGUEZ, N. 2013. *El estudio de la Sequía Hidrológica en el Mediterráneo Español. Propuesta de aplicación del índice estandarizado de Sequía Pluviométrica a las aportaciones Hídricas*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- LIU, X., WANG, S., ZHOU, Y., WANG, F., LI, W. & LIU, W. 2015. Regionalization and spatiotemporal variation of drought in China based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (1961-2013). *Advances in Meteorology*, 2015, 18.
- LUND, R. & LI, B. 2009. Revisiting climate region definitions via clustering. *Journal of Climate*, 22, 1787-1800.
- LYRA, G., ZANETTI, S., SANTOS, A., DE SOUZA, J., LYRA, G., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. & LEMES, M. 2015. Estimation of monthly global solar irradiation using the Hargreaves-Samani model and an artificial neural network for the state of Alagoas in northeastern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14.
- MAROHASY, J. & ABBOT, J. 2015. Assessing the quality of eight different maximum temperature time series as inputs when using artificial neural networks to forecast monthly rainfall at Cape Otway, Australia. *Atmospheric Research*, 166, 141-149.
- MARTIN-VIDE, J. & GOMEZ, L. 1999. Regionalization of Peninsular Spain based on the length of dry spells. *International Journal of Climatology*, 19, 537-555.
- MARTÍN VIDE, F. J. & OLCINA CANTOS, J. 2001. Climas y tiempos de España.
- MARTÍN VIDE, J. 2004. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24, 959-971.
- MARTÍNEZ, M. D., LANA, X., BURGUEÑO, A. & SERRA, C. 2007. Spatial and temporal daily rainfall regime in Catalonia (NE Spain) derived from four precipitation indices, years 1950-2000. *International Journal of Climatology*, 27, 123-138.
- MAS, J. F. & FLORES, J. J. 2007. The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 617-663.

- MCBOYLE, G. 1972. Factor analytic approach to a climatic classification of Europe. *Climatol. Bull*, 12, 1-11.
- MCBOYLE, G. R. 1971. Climatic classification of Australia by computer. *Australian Geographical Studies*, 9, 1-14.
- MICHAELIDES, S. C., PATTICHIS, C. S. & KLEOVOULOU, G. 2001. Classification of rainfall variability by using artificial neural networks. *International Journal of Climatology*, 21, 1401-1414.
- MISHRA, A. K. & COULIBALY, P. 2009. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*, 47, n/a-n/a.
- MONTES, C., BORJA, F., BRAVO, M. A. & MOREIRA, J. M. 1998. *Doñana: Una Aproximación Ecosistémica* [Online]. Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/clasificacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/clasificacion.pdf) [Acceso 5 de julio 2015].
- MORENO, F. & ROLDIN, J. 1999. Regionalization of daily precipitation stochastic model parameters. Application to the Guadalquivir valley in Southern Spain. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24, 65-71.
- MORENO GARCÍA, M. D. C. 1986. Distribución espacial de los valores probables anuales y mensuales de la precipitación en la cuenca granadina del río Genil. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 14, 57-83.
- MOUNTRAKIS, G., IM, J. & OGOLE, C. 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 247-259.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2002. Aplicación del análisis *cluster* para el estudio de la relación NAO-precipitaciones de invierno en el sur de la Península Ibérica. En: GUIJARRO PASTOR, J. A., GRIMALT GELABERT, M., LAITA RUIZ DE ASÚA, M. & ALONSO OROZA, S. (eds.) *El agua y el clima*. Palma de Mallorca, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 283-292.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- NASSERI, M., TAVAKOL-DAVANI, H. & ZAHRAIE, B. 2013. Performance assessment of different data mining methods in statistical downscaling of daily precipitation. *Journal of Hydrology*, 492, 1-14.
- OLCINA CANTOS, J. 2009. Cambio climático y riesgos climáticos en España.
- PARDO GONZÁLEZ-NADÍN, M. 1993. *Determinación de áreas climáticas en el espacio peninsular español mediante análisis multivariado según precipitación, humedad relativa y exposición solar*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- PARDO, M. 2010. *Clustering* [Online]. Disponible: <http://lectures.molgen.mpg.de/algsysbio10/clustering.pdf>.

- PEÑA, D. 2002. *Análisis de datos multivariantes*, McGraw-Hill Madrid.
- PEÑARROCHA, D., ESTRELA, M. J. & MILLÁN, 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.
- PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.
- PERIAGO, M. C., LANA, X., SERRA, C. & MILLS, G. F. 1991. Precipitation regionalization: An application using a meteorological network in catalonia (Ne Spain). *International Journal of Climatology*, 11, 529-543.
- PREISENDORFER, R. W. & MOBLEY, C. D. 1988. *Principal component analysis in meteorology and oceanography*, Amsterdam, Elsevier
- RAMACHANDRA RAO, A. & SRINIVAS, V. V. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, 318, 37-56.
- RAMIS, C., ROMERO, R., ALONSO, S., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999. Distribución espacial y temporal de la precipitación diaria en la zona mediterránea española. En: RASO, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Barcelona, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).
- RAMOS CALZADO, P. 2003. *Análisis de las precipitaciones en Andalucía occidental a escala comarcal*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General Técnica. Instituto Nacional de Meteorología.
- RAMOS, M. C. 2001. Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 57, 123-138.
- RASILLA ALVAREZ, D. F. 1994. Los regímenes de precipitación en el norte de la Península Ibérica. *Estudios Geográficos*, 55, 151-181.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. F. 1994. Aplicación de un método de análisis climático a la estimación de las precipitaciones y su régimen en la Cuenca del Duero. *Serie Geográfica*, 4, 57-80.
- RICHMAN, M. B. 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climatology*, 6, 293-335.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V. 2011. *Metodología basada en teledetección, SIG y geoestadística para cartografía y análisis de cambios en las cubiertas del suelo de la provincia de Granada*. Tesis doctoral, Universidad de Granada.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V., SANCHEZ-CASTILLO, M., CHICA-OLMO, M. & CHICA-RIVAS, M. 2015. Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geology Reviews*, 71, 804-818.



- RODRIGUEZ-GALIANO, V. F. & CHICA-RIVAS, M. 2012. Evaluation of different machine learning methods for land cover mapping of a Mediterranean area using multi-seasonal Landsat images and Digital Terrain Models. *International Journal of Digital Earth*, 7, 492-509.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V. F., GHIMIRE, B., ROGAN, J., CHICA-OLMO, M. & RIGOL-SÁNCHEZ, J. P. 2012. An assessment of the effectiveness of a Random Forest Classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. & BRUNET, M. 2007. Variabilidad y cambio climático. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Pressas Universitarias de Zaragoza 283-330.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A. H., NIETO, S. & GARMENDIA, J. 1998. Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18, 299-316.
- RODRÍGUEZ GUITIÁN, M. A. & RAMIL REGO, P. 2007. Clasificaciones climáticas aplicadas a Galicia: revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Recursos Rurais*, 1, 31-53.
- ROMERO, R., ALONSO, S., HOMAR, V. & RAMIS, C. Regionalización climática de las Islas Baleares como soporte al diseño de redes de observación. Disponible: [http://www.uib.es/depart/dfs/meteorologia/ROMU/informal/10th\\_elemet\\_09/regionalizacion\\_Baleares\\_proceedings.pdf](http://www.uib.es/depart/dfs/meteorologia/ROMU/informal/10th_elemet_09/regionalizacion_Baleares_proceedings.pdf). [Acceso 26 de febrero de 2014].
- ROMERO, R., GUIJARRO, J. A., RAMIS, C. & ALONSO, S. 1998. A 30-year (1964–1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study. *International Journal of Climatology*, 18, 541-560.
- ROMERO, R. & RAMIS, C. 1999. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: An objective classification. *International Journal of Climatology*, 18, 1031-1047.
- ROMERO, R., RAMIS, C. & GUIJARRO, J. A. 1999a. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification. *International Journal of Climatology*, 19, 95-112.
- ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999b. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.
- RUMELHART, D. E., HINTON, G. E. & WILLIAMS, R. J. 1986. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533-536.
- SAMPEDRO SÁNCHEZ, D. & DEL MORAL ITUARTE, L. 2014. Tres décadas de política de aguas en Andalucía. Análisis de procesos y perspectiva territorial. 53. Disponible: <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/1448/2476>.

- SANZ DONAIRE, J. J. & JIMÉNEZ BLASCO, B. C. Pautas espaciales en la variabilidad de las precipitaciones españolas. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 2006. Servicio de Publicaciones.
- SAWATZKY, D. L., RAINES, G. L., BONHAM-CARTER, G. F. & LOONEY, C. G. 2010. *Spatial Data Modeller (SDM)* [Online]. Disponible: <http://www.ige.unicamp.br/sdm/ArcSDM10/source/ReadMe.pdf> 2013].
- SAWATZKY, D. L., RAINES, G. L., BONHAM-CARTER, G. F. & LOONEY, C. G. 2009. *Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks* [Online]. Disponible: <http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=15341> 2013].
- ŞENKAL, O. 2015. Solar radiation and precipitable water modeling for Turkey using artificial neural networks. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 127, 481-488.
- SERRA, C., FERNÁNDEZ MILLS, G., LANA, X. & PERIAGO, M. Regionalización pluviométrica de Cataluña a partir de valores medios mensuales de precipitación. *Anales de Física*, 1991.
- SPENCE, N. A. & TAYLOR, P. J. 1970. Quantitative methods in regional taxonomy. *Progress in Geography*. 1-64.
- STEINER, D. 1965. Multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification. *Tijdschrift van het Aardrijkskundig Genootschap*, 329-347.
- SUMNER, G., RAMIS, C. & GUIJARRO, J. A. 1993. The spatial organization of daily rainfall over Mallorca, Spain. *International Journal of Climatology*, 13, 89-109.
- TERCEK, M. T., GRAY, S. T. & NICHOLSON, C. M. 2012. Climate zone delineation: evaluating approaches for use in natural resource management. *Environmental Management*, 49, 1076-1091.
- TEZEL, G. & BUYUKYILDIZ, M. 2015. Monthly evaporation forecasting using artificial neural networks and support vector machines. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-12.
- UNAL, Y., KINDAP, T. & KARACA, M. 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International Journal of Climatology*, 23, 1045-1055.
- VENEGAS, S. A. 2001. Statistical methods for signal detection in climate. Copenhagen, Danish Center for Earth System Science.
- VICENTE-SERRANO, S. M., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., DE LUIS, M. & RAVENTÓS, J. 2004. Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain). *Climate Research*, 26, 5-15.
- VINCENZI, S., ZUCCHETTA, M., FRANZOI, P., PELLIZZATO, M., PRANOVI, F., DE LEO, G. A. & TORRICELLI, P. 2011. Application of a Random Forest algorithm to predict spatial distribution of the potential yield of *Ruditapes philippinarum* in the Venice lagoon, Italy. *Ecological Modelling*, 222, 1471-1478.
- VON STORCH, H. & NAVARRA, A. 1999. *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*, Springer.

- VON STORCH, H. & ZWIERS, F. W. 1999. *Statistical analysis in climate research*, Cambridge, Cambridge University Press. Disponible: <http://www.leif.org/EOS/vonSt0521012309.pdf> [Acceso 19 de agosto de 2015].
- WADI ABBAS AL-FATLAWI, A., RAHIM, N. A., SAIDUR, R. & WARD, T. A. 2015. Improving solar energy prediction in complex topography using artificial neural networks: Case study Peninsular Malaysia. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, n/a-n/a.
- WANG, X., SMITH, K. & HYNDMAN, R. 2006. Characteristic-based clustering for time series data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 13, 335-364.
- WANG, X. L., WASKE, B. & BENEDIKTSSON, J. A. 2009. Ensemble Methods for Spectral-Spatial Classification of Urban Hyperspectral Data. *2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vols 1-5*, 3324-3327.
- WASKE, B. & BRAUN, M. 2009. Classifier ensembles for land cover mapping using multitemporal SAR imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 450-457.
- WHITE, D., RICHMAN, M. & YARNAL, B. 1991. Climate regionalization and rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, 11, 1-25.
- WILKS, D. S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Oxford, Academic Press Elsevier.
- YANG, T., ZHOU, X., YU, Z., KRYSANOVA, V. & WANG, B. 2015. Drought projection based on a hybrid drought index using Artificial Neural Networks. *Hydrological Processes*, 29, 2635-2648.
- ZHAO, C., LIU, C., XIA, J., ZHANG, Y., YU, Q. & EAMUS, D. 2012. Recognition of key regions for restoration of phytoplankton communities in the Huai River basin, China. *Journal of Hydrology*, 420-421, 292-300.
- ZIMMERMANN, A., FRANCKE, T. & ELSENBEER, H. 2012. Forests and erosion: Insights from a study of suspended-sediment dynamics in an overland flow-prone rainforest catchment. *Journal of Hydrology*, 428-429, 170-181.



# **TERCERA PARTE**

## **METODOLOGÍA**

*Capítulo 5. Presentación metodológica general*

*Capítulo 6. Elección metodológica de la tesis*



# CAPÍTULO 5

## PRESENTACIÓN METODOLÓGICA GENERAL

### 5.1. Introducción

### 5.2. Líneas metodológicas de la investigación

#### 5.2.1. Análisis de la red de observación pluviométrica

##### 5.2.1.1. Análisis histórico

##### 5.2.1.2. Las redes de observación meteorológica actuales

#### 5.2.2. Regionalización pluviométrica de Andalucía

### 5.3. Aplicación práctica de la investigación a la gestión ambiental

#### 5.3.1. Evaluación de la red activa según la calidad de series

#### 5.3.2. Representatividad de la red actual según los criterios de la OMM

### 5.4. Esquema general de nuestra investigación

### 5.1. Introducción

El desarrollo metodológico de nuestra tesis se basa en diferentes ejes que están en consonancia con el enfoque integrado que caracteriza a la geografía, al conjugar una visión cualitativa y cuantitativa a la vez, inscribiéndose en la tradición de unir *ciencias y humanidades*. Estas aproximaciones dotan a los trabajos geográficos de una identidad y un valor únicos ya que implican el reto de afrontar en el proceso de trabajo dificultades, datos, fuentes y conocimientos muy diversos.

Dentro de las dos grandes líneas de investigación, cualitativa y cuantitativa, nuestra tesis se inscribe, mayoritariamente, en la segunda en cuanto que aplicamos una estrategia deductiva, trabajamos con análisis estadísticos multivariados, estudios de muestras, etc. Sin embargo, consideramos que los datos no hablan por sí solos sino que van más allá de analizar, explicar y localizar una serie de fenómenos naturales relacionados con aspectos estrictamente físicos relacionados con el clima, sino que supone, además, enfrentarse a la tarea de interpretar, pensar qué significado otorgamos a la información y cómo hacer una valoración crítica.

Por esta razón, nuestro enfoque metodológico incluye también rasgos y elementos propios de la metodología cualitativa en cuanto que no se trata únicamente de obtener datos mediante unas técnicas sino también de buscar un escenario amplio en el que situarse y buscar la utilidad de nuestro resultados a fin de que puedan ser aplicables en la gestión medioambiental y en otros ámbitos de las ciencias.

Por esta razón, el enfoque que también hemos buscado es la interdisciplinaridad; ya que lo complejo necesita un enfoque holístico, integral, hay que conocer las investigaciones que se están llevando a cabo en otros ámbitos científicos como la biología o las ciencias ambientales e incluso hemos querido buscar la perspectiva histórica para situarnos en diferentes contextos y rescatar la información que sirvió de base a las investigaciones climatológicas del pasado y que en los momentos actuales pueden ser de utilidad para estudiar los posibles cambios en nuestro clima.

Hemos querido combinar, igualmente, la teoría y el pragmatismo puesto que no se trata únicamente de comprender una realidad, sino también de cómo cambiarla o mejorarla, y sobre todo, nuestro deseo es que este trabajo tenga una utilidad práctica, que sea asequible y pueda ser consultado por profesionales de este ámbito, de ahí que el título elegido para nuestra tesis sea “Análisis de la red para la gestión ambiental”.

El proceso de trabajo seguido en cada una de estas líneas, mantiene una secuencia que describiremos en su apartado correspondiente y que en conjunto ha requerido diferentes técnicas de investigación tales como:



- **Revisión bibliográfica especializada en campos muy diferentes** abordando contenidos tanto desde el ámbito de la climatología, la geografía y la estadística.
- **Recopilación de documentación histórica** en archivos sobre las redes de información, lo que implica una búsqueda tanto en organismos de carácter oficial como privados. Esta búsqueda ha supuesto una suerte de **trabajo de campo de gabinete** que se ha llevado a cabo a través de contactos telefónicos, epistolares y también por mails con empresas, instituciones y organismos que pudieran disponer de estaciones de medición meteorológica para la recopilación de información climática.
- **Utilización de programas informáticos específicos** para el tratamiento de datos climáticos tales como AnClim, ProClim (Štěpánek, 2008), Sistemas de Información Geográfica, etc. Hay que señalar la importancia del manejo del programa R sin el cual hubiese sido imposible abordar los análisis estadísticos de una base de datos tan voluminosa.
- **Aplicación de técnicas estadísticas especializadas** ya que el análisis de la información climática así lo exige: estadística básica descriptiva e inferencial, técnicas multivariantes, puesta a punto de las series con procedimientos de control de calidad y homogeneidad, etc.

Consideramos que todo ello ha aportado un considerable enriquecimiento científico y técnico así como una actualización de conocimientos en campos de la geografía, la climatología y otras disciplinas con ellas relacionadas.

Para alcanzar nuestros objetivos hemos tenido que emprender dos caminos que confluyen al final de la investigación y que, debido a su complejidad, hemos abordado de forma independiente.

Puesto que describir la metodología de forma unificada hubiera resultado complicado y demasiado extenso, hemos dividido este capítulo introductorio en dos partes. Por un lado, los contenidos de las dos grandes líneas de investigación se comentarán en el siguiente epígrafe, aunque una de ellas requerirá su descripción completa en el capítulo siguiente. Finalmente, la confluencia de ambas será tratada en el último apartado de esta introducción a la metodología, lo que nos permitirá mostrar los resultados finales y ofrecer, al mismo tiempo, una visión general de toda la investigación.

## 5.2. Líneas metodológicas de la investigación

La regionalización pluviométrica de Andalucía se justifica por la necesidad de identificar y describir zonas homogéneas, analizar las redes existentes de medición y ponerlas en relación con las estaciones de observación activas en la región, todo ello con el objetivo último de valorar su estado y que en un futuro pueda establecerse una red de referencia climatológica que mejore su gestión. Para ello hemos diseñado dos líneas metodológicas de trabajo (Figura 1.5):

### a) Analizar la red de medición pluviométrica

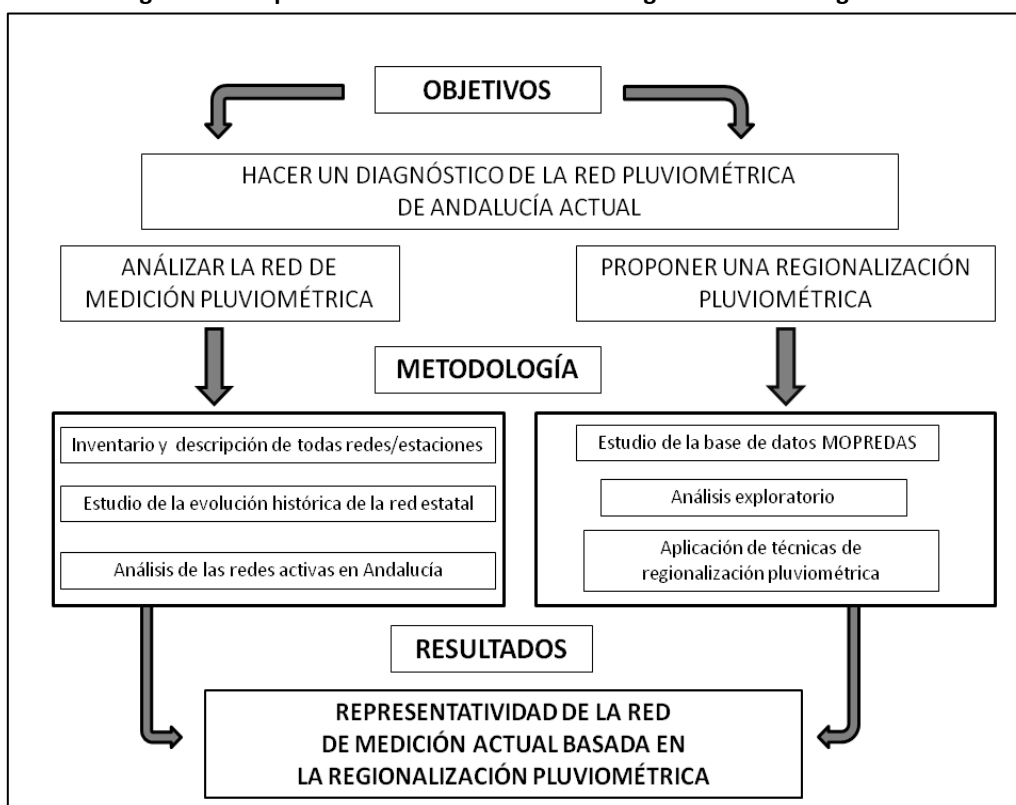
Sus objetivos fundamentales son la descripción histórica y la evaluación del estado actual de las redes existentes. Se trata de una aproximación cualitativa ligada a la tradición humanista de la geografía que engloba el proceso de búsqueda de toda la información pluviométrica existente en Andalucía y la evolución de la red principal de observación estatal.

### b) Proponer una regionalización pluviométrica

Este segundo objetivo aborda la parte más cuantitativa y se realizará mediante el análisis estadístico y exploratorio del comportamiento espacial de la precipitación, aplicando métodos *objetivos* multivariantes, todo ello apoyado en la representación de los resultados mediante un Sistema de Información Geográfica.

En ambas líneas de investigación se ha seguido un proceso metodológico *hipotético-deductivo* que nos ha ido permitiendo plantear hipótesis y alcanzar los objetivos establecidos. En la siguiente figura presentamos un esquema del proceso de trabajo que refleja las dos líneas de esta investigación y su confluencia final, lo que nos llevará a definir las conclusiones y plantear propuestas para la gestión ambiental.

Figura 1.5. Esquema de las dos líneas metodológicas de la investigación.



Elaboración propia

Nuestra investigación comienza abordando el estudio histórico de la red de observación pluviométrica de Andalucía que constituye la primera parte del capítulo de resultados, abordando en la segunda parte el presente. Describiremos a continuación el proceso de trabajo en ambas etapas.

### 5.2.1. El análisis de la red de observación pluviométrica

Conocer la evolución histórica de cualquier disciplina resulta imprescindible para comprender su desarrollo científico y técnico; en climatología, una gran parte de su conocimiento está basado en la información que proporcionan las redes de medición meteorológica desde hace más de un siglo.

En la actualidad, la facilidad para acceder a fuentes y datos ha propiciado enormemente esta labor, aunque adentrarse en el pasado y conocer las circunstancias que han rodeado a la información en esta disciplina implica un enorme esfuerzo, sirva como ejemplo la dificultad de disponer de metadatos históricos que permitan homogeneizar las series climáticas, tarea absolutamente imprescindible para el análisis de series, detección de tendencias y cambios en el clima.

El fundamento de esta fase de nuestra investigación, relacionada con las redes de medición de la precipitación, reside en la necesidad de conocer la propia información pluviométrica existente, de ahí que haya que abordar su estudio desde una doble perspectiva:

- Análisis histórico que proporcione información sobre la cantidad y calidad espacial y temporal, a fin de valorar el patrimonio de registros y su capacidad de representar y caracterizar la pluviometría en Andalucía.
- Conocimiento de la situación actual de la red de medición para acercarnos a una realidad que, por diversas razones, ha experimentado importantes cambios en cuanto a la necesidad de obtener una información climática que mejore y potencie su gestión.

Esta división se basa en que, de cara al futuro, y en un contexto de cambio climático, relacionar pasado, presente y futuro, cobra cada vez una mayor importancia. Los avances tecnológicos en cuanto a la automatización de las redes han jugado un importante papel, pero habría que proteger el legado histórico que es necesario vincular, desde una perspectiva científica, al nuevo mundo de la información que debe tener como características ser global y accesible. De esta forma, será más fácil abordar, con rigor, los desafíos a los que tendrá que enfrentarse la sociedad en asuntos cruciales para la economía, la gestión de los recursos y la política ambiental.

Para sistematizar la información hemos creído conveniente hacer una descripción de las fuentes y bancos de datos disponibles dirigidas a:

- Hacer un análisis crítico de la información disponible.
- Describir de forma sucinta el desarrollo histórico de la red de medición pluviométrica.
- Realizar una evaluación y proponer alternativas para el futuro.

#### **5.2.1.1. Análisis histórico**

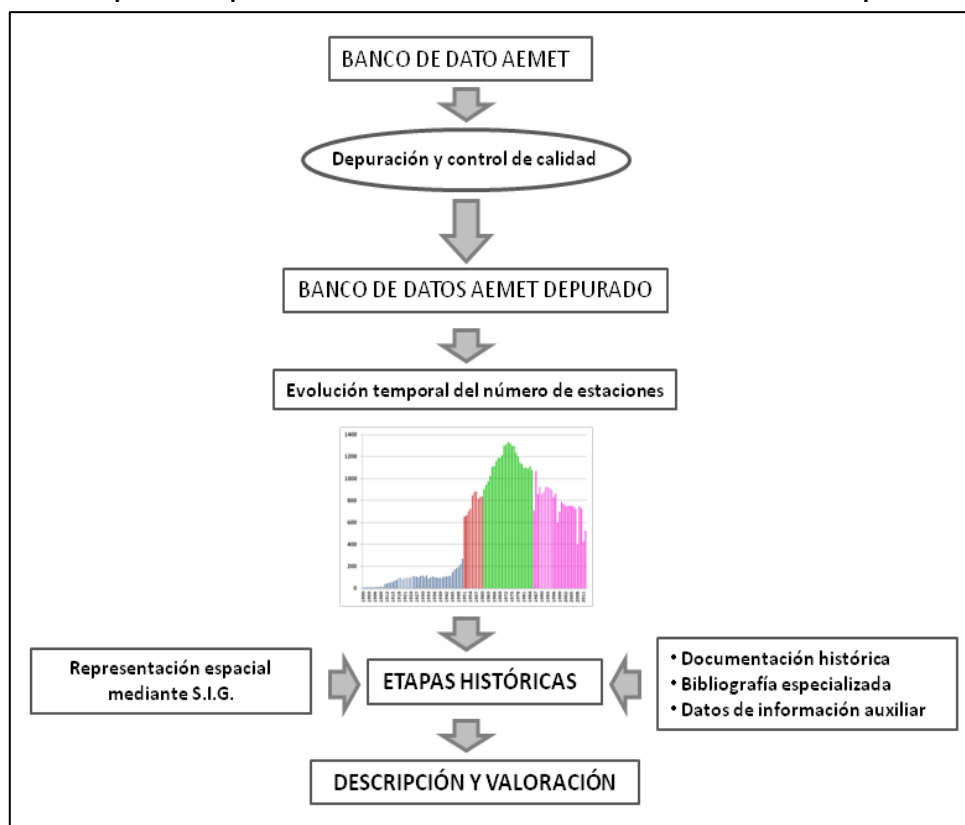
El objetivo es obtener una mejor comprensión de la información disponible a lo largo del tiempo y relacionar ésta con las motivaciones históricas e institucionales que han determinado la densidad, distribución y periodo de registro de las estaciones meteorológicas oficiales en Andalucía.

Para estudiar las características del banco de datos de precipitación de Andalucía depurado, nos basamos en el que facilitado por la AEMET necesario para conocer *su salud y estado físico*, centrándonos en la configuración de su red de observación.

Puesto que, prácticamente, ninguna red fue diseñada con fines climáticos, el desarrollo y devenir de la formación de las redes de medición ha sido el resultado de las prioridades, intereses y posibilidades económicas de cada país en determinados momentos de su historia. A pesar de las diferencias, la creación de las redes de medición y su evolución siguen un patrón bastante parecido en los países desarrollados, aunque presentan rasgos diferenciadores que se traducen en la distribución espacial de los observatorios y en la disponibilidad de información en el tiempo, específicas para cada territorio.

Nuestra primera iniciativa ha sido obtener documentación acerca de los acontecimientos históricos que explican la creación y consolidación de la red de medición pluviométrica en Andalucía, a partir del banco de datos que previamente hemos depurado. (Figura 2.5). Para ello hemos establecido cinco etapas, según los rasgos distintivos en esa evolución que se corresponden también con el devenir histórico de España y de Andalucía.

Figura 2.5. Esquema del proceso de análisis de la evolución de la red de medición pluviométrica.



Elaboración propia.

Es necesario advertir sobre algunos aspectos de nuestra investigación:

- No se trata de un estudio de documentación y reconstrucción histórica sino de un acercamiento, a través de algunos hitos destacados, a las circunstancias en que se ha configurado la red de observación pluviométrica en Andalucía.
- Utilizaremos una aproximación deductiva, a partir de investigaciones precedentes y diferentes fuentes de información, que deberán ser confirmadas con estudios de carácter historiográfico que muestren y documenten su veracidad.
- No vamos a analizar en profundidad, la historia de la meteorología y de la climatología en Andalucía, sino que nos aproximaremos a los acontecimientos de mayor relevancia que han marcado la institucionalización de estas ciencias en nuestro país, aunque éste no sea el fin de nuestra investigación.

Las etapas identificadas en la evolución del número de estaciones y su distribución espacial, serán descritas destacando los hechos más significativos de cada una de ellas, y con una evaluación de la cantidad de información disponible.

#### **5.2.1.2. Las redes de observación meteorológica actuales**

Hasta los años noventa la información meteorológica había sido gestionada exclusivamente por el *Servicio Meteorológico Nacional* (aunque con denominaciones diferentes a lo largo de la historia). Sin embargo, la aparición de nuevas redes de información meteorológica pertenecientes a diferentes organismos y administraciones públicas muestra una realidad diferente. La creciente demanda de información climática está motivada por nuevas necesidades de seguimiento y control de muchas variables ambientales tales como predicciones meteorológicas, alertas por fenómenos extremos, etc. Se plantean, pues, importantes retos para el futuro no exentos de dificultad y que en parte, están relacionados con la coordinación de las instituciones responsables de las redes de mediciones, y con la gestión, acceso y uso de esta información.

A la aparición de nuevas redes estatales *oficiales* se suma la creciente instalación de estaciones meteorológicas para satisfacer las necesidades de empresas, centros de investigación, compañías privadas que gestionan servicios públicos o incluso redes *amateurs* como Meteoclimatic.

Podemos afirmar que en la actualidad, resulta verdaderamente difícil conocer toda la información que se está generando en nuestra Comunidad Autónoma y que podría ser de utilidad si se aplican ciertas medidas de control y seguimiento para el conocimiento del clima.

En este sentido, hemos intentado recabar toda la información posible sobre estaciones de medición, no oficiales, para ofrecer un panorama cercano a la realidad que pueda ser tomado en consideración de cara al futuro. Esta búsqueda ha supuesto una especie de **trabajo de campo de gabinete** que se ha llevado a cabo a través de consulta de archivos, contactos telefónicos, cartas, correo electrónico con empresas, instituciones y organismos que disponen de estaciones de medición meteorológica para la recopilación de información climática.

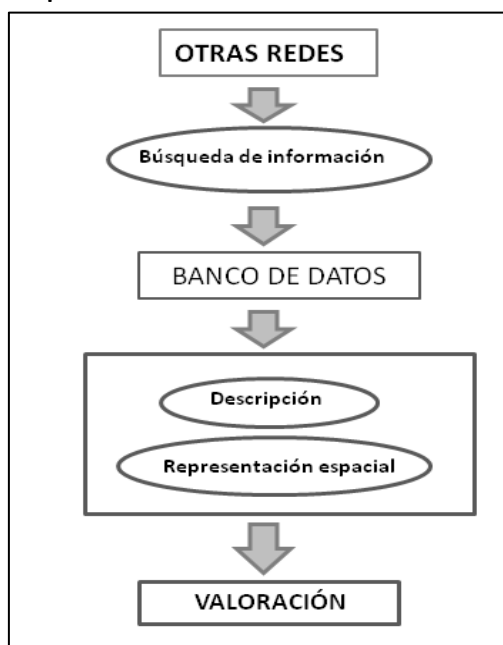
Por esta razón, presentamos en primer lugar las redes *oficiales* de que dispone Andalucía en la actualidad:

- Agencia Estatal de Meteorología
- Administración Autonómica. Redes de la Junta de Andalucía.
- Confederaciones Hidrográficas

Otras fuentes de información meteorológica:

- Universidades y Centros de Investigación
- Otros observatorios. Redes privadas

Figura 3.5. Esquema del proceso de análisis de la red de medición pluviométrica actual.



Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2.Regionalización pluviométrica de Andalucía

La segunda línea de nuestra investigación se centra en la obtención de una regionalización pluviométrica de Andalucía; sobre este tipo de estudios existen varias aproximaciones metodológicas, todas ellas con variantes en sus procedimientos, y ninguna aceptada como la *más adecuada* para estos fines. Podemos afirmar que las regionalizaciones suelen consistir en ensayar varias de las posibilidades existentes, buscando las que mejor se ajusten a los datos disponibles, a las variables que se contemplan y al propio fin del estudio.

Por esta razón, la metodología empleada para llevar a cabo nuestra regionalización pluviométrica ha consistido en utilizar distintas opciones, tanto de los procedimientos generalmente empleados como de sus variantes, intentando introducir aspectos innovadores o poco utilizados que pudieran enriquecer esta línea de investigación climatológica.

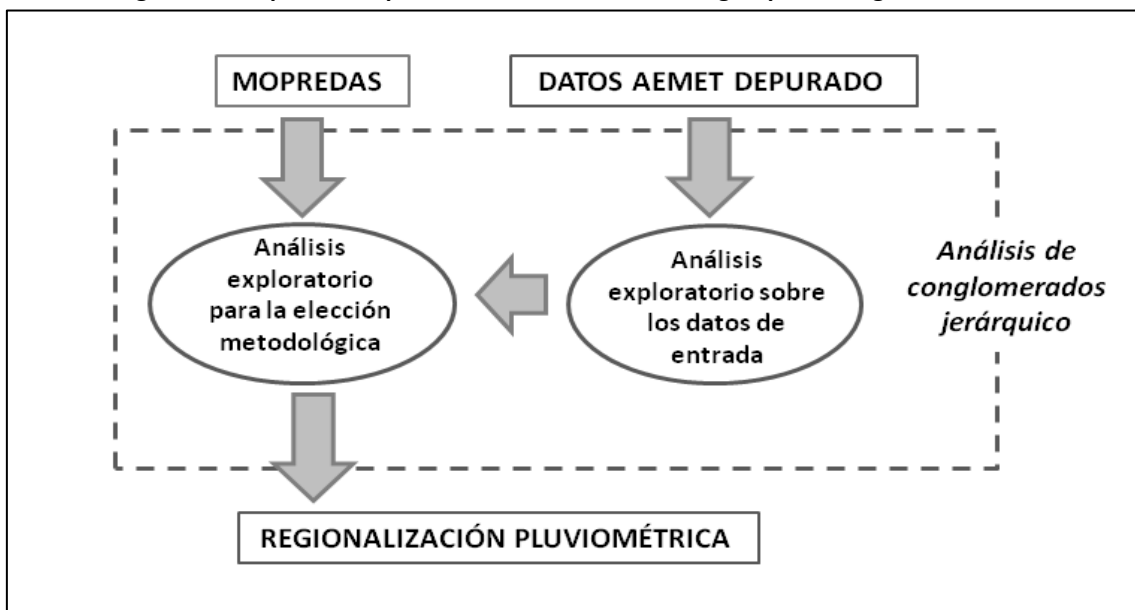
Describir este proceso resultaría muy prolijo y por esta razón hemos optado por dedicar un capítulo a su descripción, ya que constituye el apartado más complejo desde el punto de vista de los análisis y ensayos realizados. El siguiente capítulo de este bloque (Capítulo 7) está dedicado a la **elección metodológica** y en él presentamos diversas pruebas que, además de constituir resultados en sí mismos, nos han permitido seleccionar y justificar el método del que se obtiene la mejor regionalización pluviométrica, desde un punto de vista climático, espacial y estadístico.

En la siguiente figura (Figura 4.5), resumimos el proceso general de esta línea de investigación en el que, partiendo de los *diferentes* bancos de datos que hemos manejado, utilizamos dos tipos de ensayos metodológicos, ambos basados, principalmente, en el análisis de conglomerados jerárquicos. El primero de ellos parte del banco de datos de la AEMET que previamente hemos depurado, para valorar los efectos que las diferencias en los datos de entrada pueden producir sobre los resultados de la regionalización. Partiendo de ellos, y de las conclusiones a las que nos conducen, planteamos una segunda batería de pruebas, esta vez utilizando la base de datos MOPREDAS destinadas a ensayar diferentes procedimientos, dentro de la metodología general del análisis de conglomerados.

Los resultados de este proceso nos han permitido llegar a una regionalización pluviométrica más actualizada, que justifica su elección y validez, así como presentar diferentes escalas de detalle en la zonificación final, gracias a las posibilidades que la propia metodología de análisis *cluster* permite.



Figura 4.5. Esquema del proceso de elección metodológica para la regionalización.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso simplificado en la figura anterior será detallado en el siguiente capítulo

### 5.3. Aplicación práctica de la investigación a la gestión ambiental

La segunda parte del título de nuestra tesis hace referencia a la aplicación práctica de nuestra investigación: *análisis de su red de observación para la gestión medioambiental*. Nuestra motivación principal ha sido sugerir propuestas que sean *útiles* y de esta manera contribuir al conocimiento climatológico de nuestra región y de las redes de medición pluviométrica que pueda servir a los organismos competentes, ofrecer *productos* aplicables en la gestión ambiental en general, desde diferentes perspectivas a campos afines a nuestra disciplina, relacionados con el estudio y gestión del medio físico.

Desde este planteamiento, las dos líneas de investigación antes descritas confluyen y se integran en la etapa final de nuestro trabajo que se presenta en el capítulo 9 del bloque de resultados titulado: *Representatividad de la red de medición actual según la regionalización pluviométrica establecida*. En la siguiente figura (Figura 5.5) se muestra el proceso integrador final que añade dos últimos análisis a nuestra investigación sobre los resultados obtenidos en las etapas anteriores:

En esta última etapa del proceso integrador final se realizan otros dos últimos análisis que están basados en los resultados de las etapas anteriores dirigidos a:

- Evaluar la red de medición pluviométrica actual, tanto de la AEMET como de otros organismos que disponen de estaciones de medición, analizando la

calidad de los datos que registran lo que aporta información sobre la utilidad real que cada una puede aportar.

- Valorar la representatividad espacial de las estaciones localizadas en cada una de las zonas pluviométricas en relación a la densidad que la Organización Meteorológica Mundial establece como referencia general para las redes de observación.

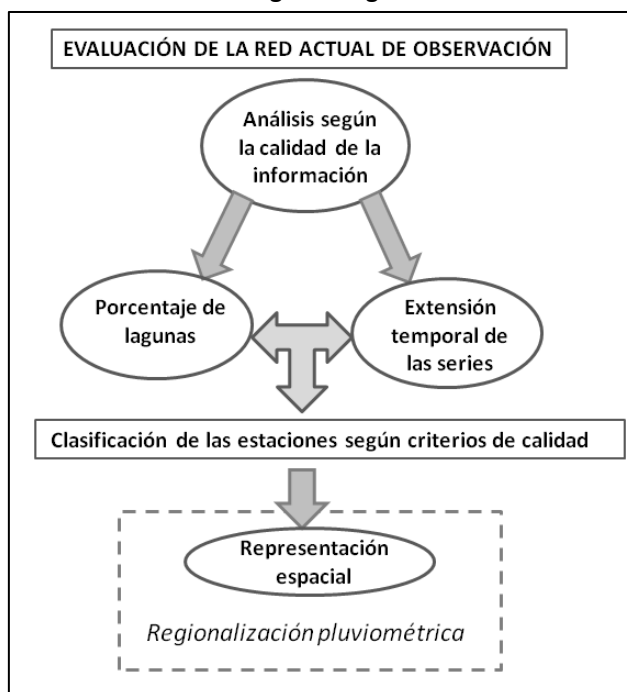
Describiremos a continuación el proceso de trabajo en estas dos últimas etapas de análisis que cierran nuestra investigación.

### **5.3.1. Evaluación de la red activa según la calidad de las series**

La extensión temporal y el número de lagunas, son los principales factores que determinan la calidad de una serie de datos climática. Aunque dependiendo de la finalidad para la sean empleadas, las exigencias serán diferentes. En general, se acepta que el menor número de datos ausentes es uno de los síntomas más evidentes de la garantía de buenas prácticas en las mediciones de un observatorio meteorológico.

La extensión temporal de la serie puede considerarse otro indicador ya que condiciona su empleo, de acuerdo con el análisis que quiera llevarse a cabo. Las exigencias de la OMM sobre las normales climatológicas se dirigen hacia el concepto de normal operacional y pueden calcularse para cualquier estación con datos de 10 o más años, ante la realidad de un “clima cambiante” (Trewin, 2007). Como este autor comenta: “independientemente del periodo elegido para el cálculo de las normales climatológicas, es probable que existan muchas estaciones que disponen de datos, aunque no en cantidad suficiente para satisfacer los requisitos establecidos sobre la cantidad mínima de datos necesaria para el cálculo de una normal climatológica. (...) Aunque los datos de corta duración por sí mismos pueden ser útiles para algunas aplicaciones, en muchos casos es preferible disponer de datos que sean comparables con las normales climatológicas estándar”.

Figura 5.5. Esquema del proceso de valoración de la representatividad de la red en función de la calidad de las series según la regionalización obtenida.



Fuente: Elaboración propia.

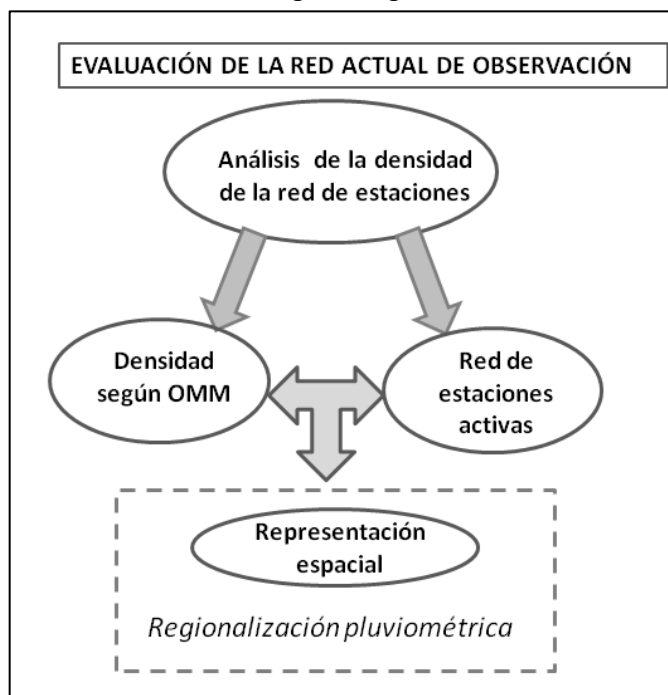
De esta forma, hemos procedido a evaluar la calidad de la red activa de la AEMET utilizando como criterios de calidad el porcentaje de lagunas y la extensión temporal de las series de cada observatorio; así mismo se han establecido diferentes umbrales que nos han permitido clasificar las estaciones a fin de conocer cuál sería la red más representativa temporalmente y más útil por la información que proporciona.

### 5.3.2. Representatividad de la red actual según los criterios de la OMM

La Organización Meteorológica Mundial establece que “la densidad y distribución de las estaciones climatológicas que se establecerán en una red terrestre de una zona dada dependen de los elementos meteorológicos que vayan a observarse, la topografía y la utilización de las tierras en la zona y las necesidad de información de los elementos climáticos concretos en cuestión. La proporción en la que varían los elementos climáticos en una zona diferirá de un elemento a otro. (...) Una red muy densa es necesaria para examinar la climatología de la precipitación, el viento, las heladas y la niebla, sobre todo en regiones de topografía pronunciada” (OMM, 2011).

La OMM hace, además, unas recomendaciones generales orientativas sobre la densidad de referencia para la precipitación, que hemos aplicado al territorio andaluz para su caracterización y para la determinación teórica del número óptimo de estaciones que cada zona debiera tener (Figura 6.5).

Figura 6.5. Esquema del proceso de valoración de la representatividad de la red en función de la calidad de las series según la regionalización obtenida.

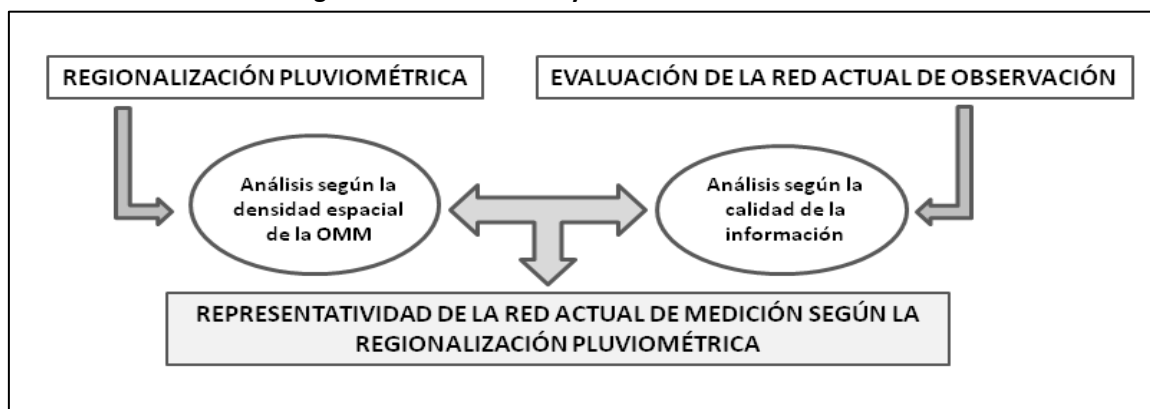


Elaboración propia.

A partir de aquí, cruzamos esta información con nuestra propuesta de regionalización y con la red de estaciones activas, lo que nos permitirá alcanzar uno de los objetivos de esta tesis: valorar la representatividad del sistema de estaciones de medición en Andalucía.

Finalmente estos dos análisis se integrarán, tal como aparece en la siguiente figura, a fin de proporcionar una visión más completa y real del estado de la red de medición pluviométrica y de su capacidad de representar la variabilidad de la precipitación en Andalucía.

Figura 7.5. Esquema de la valoración de la representatividad de la red pluviométrica actual según la regionalización obtenida y los criterios de la OMM.



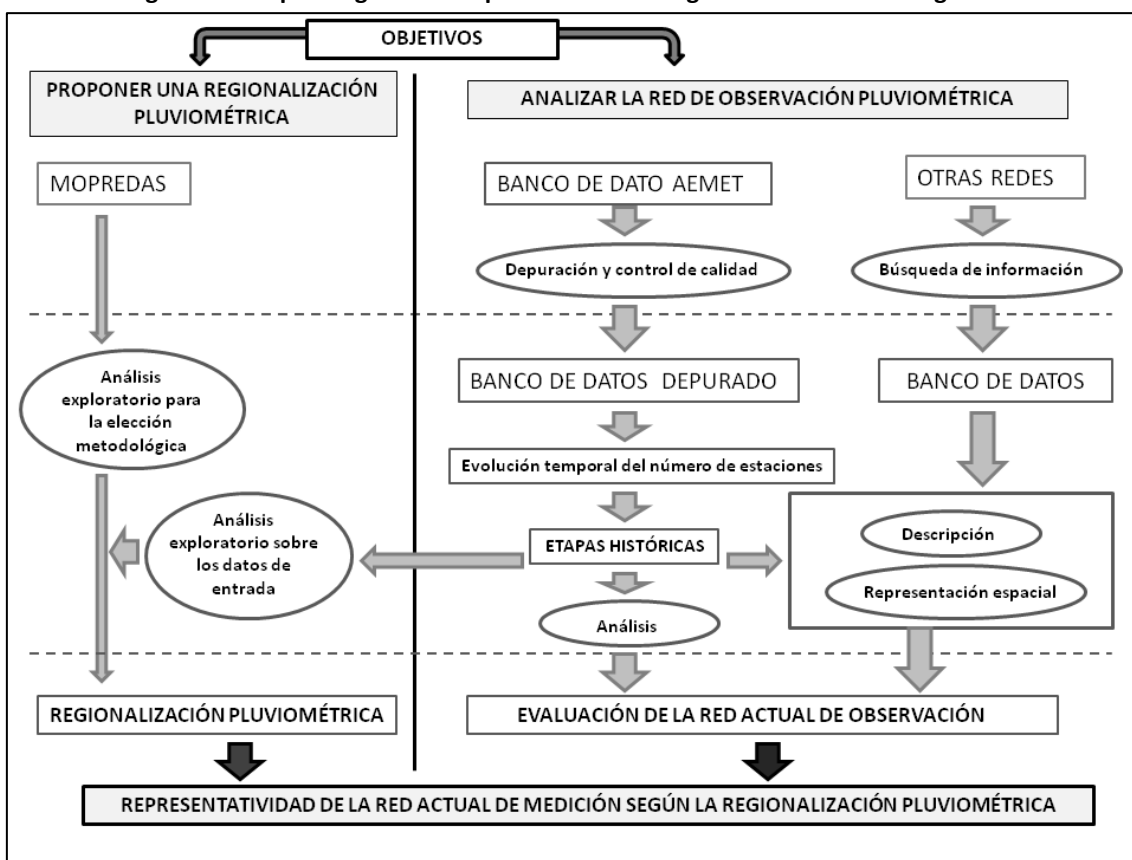
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados podrán ser utilizados para valorar el estado actual de la red y para que los organismos competentes puedan plantear medidas encaminadas a una optimización de la gestión de la red de estaciones de observación pluviométrica.

#### 5.4. Esquema general de nuestra investigación

En este último apartado ofrecemos una visión sintética de todo el proceso llevado a cabo en nuestra investigación.

Figura 8.5. Esquema general del proceso metodológico de nuestra investigación.



Elaboración propia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OMM 2011. Observaciones, estaciones y redes climáticas. *En: MUNDIAL, O. M. (ed.) Guía de prácticas climatológicas. tercera edición*, Ginebra, Organización meteorológica Mundial.

ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .

TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible:

<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinachangingclimateSp.pdf> [Acceso 16 de marzo 2013].

OMM 2011. Observaciones, estaciones y redes climáticas. *En: MUNDIAL, O. M. (ed.) Guía de prácticas climatológicas. tercera edición*, Ginebra, Organización meteorológica Mundial.

ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .

TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible:

<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinachangingclimateSp.pdf> [Acceso 16 de marzo 2013].

# CAPÍTULO 6

## ELECCIÓN METODOLÓGICA

### 6.1. Introducción y justificación

6.1.1. Análisis de conglomerados versus análisis de componentes principales

6.1.2. Ventajas del análisis de conglomerados

6.1.3. Limitaciones del análisis de conglomerados

### 6.2. Consideraciones sobre los datos de entrada y su tratamiento

6.2.1. Consideraciones generales

6.2.1.1. Autocorrelación espacial

6.2.1.2. Escala y órdenes de magnitud de las mediciones

6.2.1.3. Organización de las series temporales

6.2.1.4. Normalidad de los datos

6.2.1.5. Valores atípicos y ausentes

6.2.2. Las series de precipitación mensual

### 6.3. El análisis de conglomerados

6.3.1. Etapas del análisis de conglomerados

6.3.1.1. Selección de las variables que favorezcan la agrupación de datos

6.3.1.2. Elección del procedimiento de conglomeración

6.3.1.3. Elección de las medidas de distancia y proximidad

6.3.1.4. Seleccionar el algoritmo de formación de los conglomerados

6.3.1.5. Decisión sobre el número de conglomerados

6.3.1.6. Validación estadística de los grupos

6.3.1.7. Presentación, validación e interpretación de los resultados

**6.3.2.** Análisis exploratorio metodológico

**6.3.2.1.** Análisis exploratorio sobre el efecto de los datos de entrada

**6.3.2.2.** Análisis exploratorio metodológico sobre el *cluster* jerárquico

**6.3.2.3.** Análisis de componentes principales y *cluster*

**6.4.** Elección de la metodológica final



### 6.1. Introducción y justificación metodológica

Elegir una metodología aplicable a la regionalización supone hacer una valoración previa de los procedimientos disponibles y optar por una combinación óptima, entre las múltiples posibilidades existentes. Se produce lo que Jain denomina “el dilema del usuario y el papel de la experiencia” (*The User’s Dilemma and the Role of Expertise*), pues el investigador que intenta seleccionar un algoritmo adecuado para su caso de estudio, puede abrumarse ante la enorme disponibilidad de algoritmos de agrupamiento existentes.

Ante esta situación, el autor recomienda abordar inicialmente, en cada investigación, cuestiones tales como: estructura y características de los datos de entrada, valoración de la necesidad de llevar a cabo algún tratamiento previo a las variables o la sensibilidad de las diferentes técnicas de agrupación. Ante la evidencia de que “no existe una técnica de agrupamiento de aplicación universal en el descubrimiento de la variedad de estructuras presentes en los conjuntos de datos multidimensionales” (Jain *et al.*, 1999), hay que probar y contrastar distintas opciones antes de encontrar el procedimiento que, para cada caso de estudio particular, pueda identificar las estructuras *ideales*.

Esto explica el gran número de algoritmos de agrupamiento que siguen apareciendo en la bibliografía ya que cada nuevo algoritmo de agrupamiento consigue mejorar los existentes en la identificación de distribución y patrones en los datos. Por esta razón intentaremos responder a estas cuestiones y ensayar diferentes posibilidades metodológicas en los primeros apartados de este capítulo, a fin de establecer, con fundamento, la mejor opción metodológica final entre todas las de posibilidades existentes.

En el caso de los métodos de regionalización o bien toman un enfoque heurístico, con el fin de buscar soluciones *cercanas al óptimo* o bien tratan de encontrar una solución *óptima* pero en un espacio de búsqueda más reducido (Guo, 2008). Este autor, abordando de forma general la cuestión, desde una perspectiva geográfica general, plantea que los métodos existentes de regionalización se pueden clasificar, básicamente, en dos grupos: agrupaciones no espaciales y espaciales.

Dentro del primer grupo *no espacial* se encuentran las técnicas de regionalización que hemos descrito, y que se emplean en climatología. Las restantes posibilidades retoman la cuestión de incorporar atributos geográficos derivados de la localización espacial en el procedimiento de agrupación. Como comentamos en el apartado XX del capítulo sobre clasificaciones y regionalizaciones, estas consideraciones pierden importancia

por la autocorrelación espacial que suelen presentar las variables climáticas que *evita estas complicaciones*.

Por esta razón, aunque pueda parecer contradictorio, utilizaremos un procedimiento de agrupamiento no espacial para identificar áreas homogéneas en el territorio, basado en la similitud respecto a un único atributo. Este tipo de enfoque es especialmente útil para examinar la distribución y dependencia de patrones multivariados espaciales. Dentro de estas técnicas se encuentran los procedimientos de estadística multivariante ya citados: análisis de conglomerados (AC), análisis de componentes principales (ACP) y combinación de ambas secuencialmente en dos o más etapas. A partir de aquí nos planteamos la cuestión de cuál de estos procedimientos seleccionar y qué razones justifican su elección.

Hemos escogido el análisis de conglomerados (AC) o *clúster* como procedimiento de regionalización de la precipitación en Andalucía por ser uno de los métodos más utilizados en la delimitación de zonas climáticas (Lund y Li, 2009). Se trata de una herramienta estadística reconocida por su eficacia para agrupar estaciones climatológicas en regiones homogéneas que permite, además, sintetizar los datos climáticos de una manera concisa identificando los patrones que subyacen en los datos (DeGaetano, 2001; Gong y Richman, 1995; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004; Unal *et al.*, 2003). No obstante, existen otras consideraciones de distinta naturaleza que también justifican nuestra elección:

### 6.1.1. Análisis de conglomerados versus análisis de componentes principales

La elección del AC frente al ACP está basada, a su vez, en diversos factores tanto como procedimiento único como en su aplicación como procedimiento inicial de reducción en un sentido amplio.

- Las técnicas de ACP son sensibles a la densidad y distribución de los datos, razón por la cual se suelen utilizar aplicadas a datos en rejilla o interpolados a partir de las estaciones existentes, con el fin de *homogeneizar* la distribución de puntos de observación. En nuestro caso de estudio, nos interesaba considerar todas las estaciones disponibles para intentar captar la máxima variabilidad y los matices espaciales a partir del mayor número de estaciones disponibles de calidad suficiente.

Cumplir esta exigencia de regularidad espacial en la densidad de los puntos de observación que garantizara unos resultados precisos del ACP, nos hubiese llevado a perder información espacial, aun eligiendo base de datos en rejilla de alta resolución como los disponibles en la *European Climate Assessment &*

*Dataset* (E-OBS) a escala diaria, con una densidad de estaciones de alta resolución (25 km), lo que supone contar con al menos una estación por cada 25 × 25 kilómetros (Haylock *et al.*, 2008) y accesible en la red (<http://eca.knmi.nl/download/ensembles/download.php>).

La segunda opción, interpolar los datos de precipitación con el fin de crear una distribución de datos regular o en celdillas hubiese sido una tarea inabarcable, ya que estimar *correctamente* esta variable, a escala mensual, en una región tan compleja como Andalucía sería objeto de otra tesis.

- **El ACP no resulta un medio eficaz de regionalización pluviométrica en zonas con topografía compleja o influencias locales de masas de agua importantes.** Cuando se necesita un gran número de componentes para lograr representar la varianza total de los registros de precipitación, entonces el proceso de asignación de las estaciones en las regiones se vuelve más subjetivo y difícil de manejar. Serra y otros (1996) emplearon ACP para delimitar regiones homogéneas de precipitaciones en España, encontrando que la geografía y las interacciones locales tierra-mar contribuyen significativamente a las variaciones espaciales de los patrones de lluvias en todo el país. Como resultado, las componentes principales más importantes no fueron capaces de captar la mayor parte de la varianza total de registros de precipitación en la zona de estudio. Los emplazamientos presentaban cargas significativas en muchas de las componentes resultantes por lo que la decisión en el proceso de asignación a cada región resultaba altamente subjetivo (Irwin, 2015). E La ACP no parece ser el método de regionalización efectivo en regiones con las características de Andalucía.
- Otra de las razones para no utilizar **el ACP** en la primera etapa, es porque reduce la información y extrae los modos principales de variabilidad natural en los datos originales, este tipo de análisis **no garantiza una mejor clasificación** final. La transformación de las variables en nuevos componentes puede en ocasiones no ser fácilmente interpretable (Romero *et al.*, 1999b). Romero y otros encontraron este problema en su regionalización de la costa mediterránea, incluida Andalucía, y comentan que las estructuras de los patrones espaciales encontrados presentaba dependencia, debido a la forma irregular del dominio de las componentes sin girar (Romero *et al.*, 1999). Richman (1986) advierte que, como consecuencia de la dependencia de la forma de dominio, el enfoque sin girar ACP, origina resultados que no producen modos realistas.

De ahí la necesidad de rotar los componentes como forma de buscar una estructura más sencilla y más fácilmente interpretable. No obstante, este mismo autor sugiere que el ACP debe aplicarse si el investigador desea contrastar la

hipótesis de que la población se compone de un número de grupos discretos, pero no es necesaria si ya está probada la existencia de estos grupos.

- **Nuestro estudio aborda escalas temporales diferentes.** Disponemos de dos regionalizaciones realizadas en Andalucía: la propuesta por Romero y otros en 1999, y la última realizada por Argüeso y otros en 2011 ambas a escala diaria. Como ha comprobado recientemente Irwin (2015) “las regiones pluviométricas que se clasifican como homogéneas para una determinada resolución temporal pueden no serlo para otra. Se descubre que existe mayor variación en la distribución espacial de las regiones a escalas de tiempo más finas (mensual), frente a resoluciones temporales mayores (estacionales y anuales), y que no parece haber una relación entre las regiones formadas a diferentes resoluciones temporales y periodos de observación distintos”. Nuestro estudio no coincide con las investigaciones precedentes en este sentido, por lo que no es reiterativo y puede aportar información interesante sobre el papel de las resoluciones temporales en las regionalizaciones en el caso de Andalucía.

Los estudios anteriores han seguido un esquema metodológico similar que combina el ACP en una primera fase, con el AC posteriormente en la delimitación de grupos homogéneos a partir de las componentes identificadas (Argüeso *et al.*, 2011; Romero *et al.*, 1999b). En ambos estudios los datos de partida consisten en precipitaciones diarias de los periodos 1964-1993 (29 años) y 1990-1999 (10 años). Con estos precedentes nos interesa probar una metodología diferente a las ya empleadas, a otra escala temporal, la mensual y con un periodo que supera los 50 años. El cambio en la metodología nos permitirá comparar resultados valorando las diferencias y similitudes, tanto desde un punto de vista de las zonas pluviométricas obtenidas como de las metodologías empleadas.

### 6.1.2. Ventajas del análisis de conglomerados

Las técnicas de análisis de conglomerados pertenecen al grupo de las denominadas *blandas*, ya que tienen escasas exigencias respecto a los datos iniciales por lo que resultan muy versátiles y fáciles de aplicar. A pesar de ser un método sencillo se obtienen resultados igualmente buenos, lo cual siempre es una característica positiva. Pero, además, se pueden mencionar otras ventajas relacionadas con esta elección:

- Una revisión de la literatura dedicada a la delimitación de las regiones pluviométricas reconoce algoritmos de agrupamiento de AC como enfoques de regionalización superiores (Irwin, 2015).

- La agrupación resultante consigue una descripción concisa del conjunto de datos, representando cada grupo una zona con características similares respecto al comportamiento de la precipitación. Si se compara con otros enfoques globales como el Análisis de Componentes Principales, presenta la ventaja de detectar mejor los fenómenos locales que se producen en los subconjuntos, dentro de los datos (Günnemann et al., 2012).
- El AC no exige una densidad regular de puntos de observación algo que, como comentábamos, es recomendable en el ACP, lo cual ofrece más libertad en la utilización espacial de las estaciones y no condiciona la escala de trabajo a priori, como ocurre con los formatos *grid*. Asimismo, al utilizar los datos directamente, evitamos las modificaciones derivadas de la obtención de la serie representativa de cada celdilla; de esta forma se plantean diferentes opciones que están relacionadas: con el número de series empleadas, su ponderación, método de obtención de la serie final por celda, localización (nodos, centro...), etc.
- La utilización del máximo número de estaciones tiene consecuencias, desde un punto de vista espacial, que normalmente no se abordan cuando estas técnicas se aplican desde una óptica de la física de la atmósfera. No referimos a la relación entre la escala y el análisis espacial que se lleva a cabo, ya que como expone García “el análisis de la escala parte del reconocimiento de la escala muestral y analítica, a través de parámetros como (...) la unidad mínima de resolución espacial que utilizamos, y la extensión, o dimensión máxima cubierta por el estudio. La capacidad de inferencia ecológica depende de cómo las escalas muestral y analítica se ajustan a la dimensión real de los fenómenos naturales”(García, 2008).

Por lo tanto, la flexibilidad en cuanto a la densidad y distribución de los puntos muestrales del AC nos permitirá identificar el “reparto de variabilidad” de los elementos climáticos a lo largo de las escalas espaciales y “discernir cómo cambia la covariación” en función de las escalas espaciales. Esta aproximación permite plantear “un concepto integrador de la escala que mejora nuestra capacidad de establecer vínculos causales entre patrones, procesos y mecanismos” (Levin 1992, Peterson y Parker, 1998 citado por García 2008). La detección e interpretación de patrones espaciales se encuentra fuertemente influenciada por la escala de observación (Maestre y Escudero, 2008).

- La aproximación metodológica del AC que vamos a emplear *no es la convencional*, ya que utilizamos: las series completas mensuales y las series temporales de todo el periodo de análisis como los datos originales, y el coeficiente de correlación de Pearson como medida de distancia. Ya comentaremos esta

singularidad metodológica en los siguientes apartados, pero pensamos que puede resultar una aproximación innovadora.

### 6.1.3. Limitaciones del análisis de conglomerados

Somos conscientes, no obstante, de que el AC puede presentar algunas limitaciones que mencionamos a continuación:

- **Las agrupaciones no espaciales** en cualquiera de sus metodologías, **basan el agrupamiento final en la similitud respecto a un único atributo**; los grupos se dividen o se fusionan para formar regiones en el espacio geográfico, siendo el número final de regiones impredecible y difícil de controlar, a no ser que utilicemos un procedimiento no jerárquico. A veces, las agrupaciones están segmentadas en ámbitos diferentes en el espacio geográfico (Guo, 2008) algo que puede presentar incoherencias en determinadas ocasiones. Sin embargo, algunos autores argumentan que la contigüidad espacial no es un requisito para la creación de regiones climatológicamente homogéneas, (Fovell y Fovell, 1993) considerando que estaciones climáticas cercanas pueden presentar diferentes patrones de precipitación o temperatura (Yeh *et al.*, 2000). Las condiciones climáticas regionales son controladas, principalmente, por tres forzamientos básicos: la latitud, la elevación o topografía y la distancia a las masas de agua (Degaetano, 1996; Rhee *et al.*, 2008), por lo que regiones con climas no contiguos pueden reflejar variaciones espaciales en uno o más de estos forzamientos (Perdinan y Winkler, 2015).
- **La mayor parte de los procedimientos de regionalización obtienen clasificaciones duras** (*hard regionalization*) denominadas así porque cada estación pertenece a una sola región en la que todos los elementos se asemejan entre sí. Esta aproximación no permite la superposición, y generalmente presentan formas más irregulares, razón por la se plantean los procedimientos difusos (*fuzzy clustering*), donde cada elemento presenta un grado variable de pertenencia a cada uno de los grupos de salida (Jain *et al.*, 1999). Romero y otros advierten que “las regionalizaciones duras, aunque simples conceptualmente, no parecen ser la opción que mejor conserve la física subyacente en la generación y supresión de la precipitación. Los mecanismos que acusan la precipitación son difusos y se superponen, por lo que parece adecuado optar por una solución que los incorpore y que permita la superposición de regiones”(Romero *et al.*, 1999b).
- **Las técnicas de AC, aunque fáciles de aplicar, suelen ser difíciles de interpretar**, especialmente si se aborda el análisis de grandes volúmenes de datos. Debido a

que el análisis *cluster* implica la elección entre diferentes medidas y procedimientos, con frecuencia es difícil juzgar la “veracidad” de los resultados. Por esta razón se recomienda comparar los resultados aplicando diferentes en el AC, ya que soluciones similares indican, generalmente, la existencia de una estructura consistente en los datos. Por el contrario, resultados muy diferentes es posible que indiquen una estructura poco consistente. En último caso, la validez de los *clusters* se juzga mediante una interpretación cualitativa que puede ser subjetiva.

Siendo conscientes de las ventajas y limitaciones que las técnicas de AC presentan, puesto que se trata de procedimientos no supervisados indicados en la detección de patrones espaciales puntuales, y puesto que nuestra base de precipitaciones y la forma de abordar su análisis es innovadora respecto a los procedimientos de regionalización más *tradicionales* en climatología, preferimos partir de un procedimiento que presenta la ventaja de ser exploratorio, al mismo tiempo que capaz de producir la regionalización deseada. No obstante, siguiendo la recomendación anterior, se emplearan varios procedimientos y métodos dentro del AC, contrastándolos con los estudios previos realizados para la regionalización pluviométrica de Andalucía.

Las razones para abordar el proceso mediante esta metodología se basa en las diferencias en los datos de partida, densidad, etc. No podemos utilizar los resultados anteriores como regiones determinadas *a priori*, por lo que, habría que repetir el análisis probando con algunas de las diferentes opciones disponibles dentro de esta metodología. En cualquier tipo de aplicación posterior no hay que interpretar las regiones climáticas definidas y sus fronteras, como definitivas por el hecho de haber sido obtenidas mediante técnicas *objetivas*, especialmente si las regiones están basadas en un sólo procedimiento de clasificación.

En el contexto actual de cambio climático, como enfatiza Perdinan y otros (2015) “deben tenerse en cuenta las fortalezas y limitaciones de cada regionalización climática fin de utilizar con mayor eficacia las regionalizaciones en las evaluaciones del cambio climático. Hay que destacar cuestiones tales como la selección de variables en la clasificación, la interpretación de las regiones climáticas, la densidad y la calidad de los datos de partida, la contigüidad espacial de las regiones, y la estabilidad temporal de la regionalización”(Perdinan y Winkler, 2015).

Puesto que cada técnica tiene sus ventajas e inconvenientes, los nuevos resultados que aportaremos permitirán contrastar y completar el conocimiento sobre el comportamiento y distribución espacial de la precipitación en Andalucía. No debe sorprender que los límites de las regiones identificadas puedan variar respecto a otras

metodologías empleadas, de esta forma podremos tener más confianza en los resultados obtenidos si disponemos de diferentes regionalizaciones climáticas que sean similares, partiendo de distintos métodos de clasificación.

## 6.2. Consideraciones sobre los datos de entrada y su tratamiento

Antes de describir las etapas metodológicas de nuestra investigación, es necesario plantear una serie de cuestiones relacionadas con nuestros datos y tomar una serie de decisiones, antes de realizar el AC, que hacen referencia al método *cluster* que se va a emplear y también a plantear la forma en la que se va a trabajar con los datos originales. Estas cuestiones son fundamentales ya que tienen gran influencia en el propio desarrollo de la metodología y en los resultados finales.

Cuando el objetivo es realizar una división climática, algunos de los procesos de regionalización se enfrentan, inicialmente, a la difícil decisión de qué variables seleccionar para que sean significativas en la discriminación de grupos. De esta cuestión se derivan otras *complicaciones* que se deben abordar tales como el tratamiento conjunto de variables con diferentes unidades y los problemas de colinealidad que pueden presentarse entre ellas.

En la siguiente tabla (Tabla 1.6) recogemos algunas características de los datos que deben considerarse, antes de llevar a cabo procesos de regionalización y soluciones estadísticas que se pueden adoptar. Iremos considerando con más detalle aquellos que afectan a nuestro caso de estudio y especialmente a la precipitación.



**Tabla 1.6. Consideraciones sobre los datos de entrada en los procesos de regionalización.**

	<b>Característica del dato</b>	<b>Descripción</b>	<b>Problema estadístico</b>	<b>Solución</b>
<b>Análisis espacial Autocorrelación</b>	Continuidad en el espacio	Fenómeno físico con cambios generalmente graduales en el espacio	Autocorrelación espacial Procesos no estacionarios	Corrección del nivel de significación en las pruebas estadísticas  Cambio de escala de análisis
			Ruido  Información redundante	Reducción de la dimensión  ACP para extraer la señal climática
<b>Magnitud/unidades</b>	Escala/tamaño de los valores Diferentes unidades	La precipitación está influenciada por la topografía	Escalado Colinealidad	Estandarización Transformaciones estadísticas
<b>Análisis temporal  Estructura temporal de las series</b>	Valores dependen del mes del año	Ritmo estacional de las precipitaciones	Estacionalidad Existencia de ciclos	Eliminar ciclo de las series Análisis a nivel estacional o mensual
	Los valores dependen de los anteriores	No independencia de las observaciones	Autocorrelación serial	Cadenas de Markof Periodograma
	Periodos con diferentes valores por cambios en la variabilidad o en las cantidades	Podemos tener periodos con mayor variabilidad (sequías o muy años húmedos)	Tendencia Estacionariedad Homocedasticidad	Test de Man-Kendall Test de Petit
<b>Normalidad</b>	Comportamientos precipitación muy diferentes según el mes	Las series mensuales no tienen por qué tener la misma distribución de valores	Normalidad Diferente distribución de probabilidad de las series mensuales	No inferencia  Estadística no paramétrica
<b>Presencia de lagunas o outliers</b>				Control de calidad Análisis exploratorio ACP

### 6.2.1. Consideraciones generales

### 6.2.1.1. Autocorrelación espacial

Cuando los datos no son independientes se dice que presentan autocorrelación. Si disponemos de datos geográficos, decimos que una variable está correlacionada espacialmente cuando un valor determinado en un punto no es completamente independiente de los valores que toma la variable en localizaciones vecinas.

La autocorrelación en una variable trae consigo un problema estadístico: se deteriora nuestra capacidad para realizar pruebas estadísticas de contraste de hipótesis, ya que “la cantidad de información en el conjunto de datos se reduce en proporción al grado de autocorrelación que presenta. En otras palabras, (...) cada unidad muestral no contribuye con un grado de libertad a la prueba estadística sino con algo menos en función del nivel de autocorrelación espacial” (*Op. Cit*, p.11).

Sin embargo, esta característica es intrínseca a los datos del medio físico y sin ella no se podrían establecer modelos ni predicciones. Legendre, plantea desde la ecología, la cuestión de si la autocorrelación es un problema o un nuevo paradigma, poniendo de manifiesto la relevancia del estudio de la estructura espacial de los procesos ecológicos (Legendre, 1993), consideración igualmente válida para la geografía.

La ausencia de aleatoriedad en los valores que toma una variable debido a la existencia de un patrón o estructuración espacial, implica que el valor que toma en un punto puede ser predecible a partir de los valores existentes en puntos cercanos. En este contexto, la variable que tiene autocorrelación espacial es una “variable regionalizada” y presenta una estructura espacial en un determinado rango de distancia (Iriondo *et al.*, 2008). Las técnicas geoestadísticas permiten describir la continuidad espacial de este tipo de fenómenos naturales y describir su patrón espacial a una determinada escala, bajo el cumplimiento de ciertas condiciones.

Maestre y Escudero puntualizan que “numerosos métodos de análisis se basan en la suposición de que el proceso subyacente a un patrón espacial dado es *estacionario*. En un contexto espacial, un proceso o su modelo es estacionario si sus propiedades son independientes de su posición absoluta y de la dirección en el espacio (Hanning, 1990), o dicho de otra forma, si sus parámetros (como su media y su varianza) son los mismos en todas las partes de la zona de estudio y en todas las direcciones. La estacionariedad de los datos es un requisito de algunas técnicas analíticas que, como la geoestadística, caracterizan la estructura espacial de los datos en zonas del espacio que no son muestreadas” (Maestre y Escudero, 2008).

Las técnicas geoestadísticas son, aparentemente, más adecuadas para los objetivos de la regionalización que los métodos multivariantes convencionales, aunque no pueden ser aplicadas para el ámbito de Andalucía ya que este requisito de estacionariedad no se cumple a escala. El rango de dependencia espacial se produce a distancias menores

a otras escalas. La regionalización permite acercarnos a la resolución de estos procesos para, posteriormente, cuantificar estadísticamente el grado y la escala espacial de los fenómenos de interés.

La autocorrelación espacial no representa un problema, sino todo lo contrario, es la cualidad que nos permite regionalizar y el hecho que determina la idoneidad de las técnicas multivariantes, a pesar de ser procedimientos no espaciales.

Hoy en día existen muchos métodos disponibles para analizar la estructura espacial y probar la presencia de autocorrelación espacial en los datos, entre los que se citan, las técnicas multivariantes de agrupación (AC) con la restricción de contigüidad espacial (Legendre y Fortin, 1989), requisito que no es necesario para el análisis de la información climática, como hemos apuntado anteriormente.

En cuanto a la segunda cuestión que plantea la autocorrelación, relacionada con las pruebas de significación estadística, en principio nuestro estudio no plantea hipótesis de partida ya que vamos a explorar e indagar acerca de la estructura espacial de la precipitación en Andalucía para, posteriormente, avanzar sobre el planteamiento y aplicación de otras técnicas de análisis espacial.

#### **6.2.1.2. Escala y órdenes de magnitud de las mediciones**

La importancia de esta cuestión está relacionada con los cambios de escala en el conjunto de datos o entre las variables que se analicen. Cuando las variables se presentan en unidades muy distintas, conviene estandarizarlas para evitar que el algoritmo de agrupación dependa de cambios irrelevantes en la escala de medida. En el caso de contar con las mismas unidades, es mejor no estandarizar, ya que una varianza mucho mayor que el resto puede ser debida a que existen dos grupos de observaciones en esas variables que podemos ocultar al estandarizar (Peña, 2002, p. 223).

Para decidir si las variables se estandarizan, antes del análisis, conviene tener en cuenta el objetivo de nuestro estudio y el tipo de distancia utilizado. Por ejemplo, con la distancia euclídea, si no estandarizamos la distancia dependerá de las variables con valores más grandes, y el resultado del análisis puede cambiar completamente al modificar la escala de medida. Si estandarizamos, estamos dando a priori un peso semejante a las variables, con independencia de su variabilidad original, lo que no siempre es adecuado (*Op. Cit*, p.230). En general, lo que se suele hacer, sobre todo si se usan técnicas *blandas* como el *cluster*, es probar de las dos maneras y ver cuál resulta más fácilmente interpretable o más consistente con los resultados esperados.

Cuando las variables están muy relacionadas por procesos físicos otro problema que se suele presentar es la colinealidad, por lo que se suele utilizar el ACP para eliminarla. Otras veces se opta sencillamente por regionalizar las variables de forma independiente, antes de realizar una división climática *completa*. Ya Fovell advierte de este problema: “los datos de temperatura y precipitación se mezclaron durante el cálculo de las disimilitudes entre elementos, permitiendo que los grupos reflejasen conjuntamente las diferencias entre temperatura y precipitación. No obstante, planteaba problemas relacionados con escalamiento arbitrario de los atributos y con la redundancia de información que resultaron difíciles de resolver. Por esta razón, en el presente enfoque los datos de temperatura y precipitación se agrupan por separado y luego se cruzan categóricamente para formar grupos consensuados” (Fovell, 1997). Igualmente Argüeso y otros comentan los “problemas de normalización y la rara coincidencia de registros de temperatura y precipitación, nos animaron a procesar estas variables de forma independiente”.

El coeficiente de correlación de Pearson como medida de similitud supone la estandarización implícita de los datos, por lo que los problemas derivados de la dependencia espacial de la magnitud de los datos, en función de la altitud, se resolverían.

### 6.2.1.3. Estructura temporal de las series

La utilización del análisis de conglomerados, aplicado directamente sobre las series de valores mensuales, pueden contener información redundante debido a la presencia de *estacionalidad*, por lo que podríamos estar midiendo este comportamiento a través de los coeficientes de correlación y no de la señal climática *limpia*, es decir, la información realmente aleatoria de las series. Al menos, una parte de la correlación puede estar influida por este efecto, no midiendo de forma precisa lo que deseamos. Para verificarlo habría que comparar las series y ver si su evolución en el tiempo es más o menos parecida o, por el contrario, evolucionan de forma muy diferente unas de otras. Otra posibilidad consiste en revisar bien los resultados estacionales para comprobar el efecto de la estacionalidad sobre los resultados.

La redundancia de información al utilizar todos los datos, puede llegar a impedir la correcta detección de los patrones esenciales de variabilidad, razón por la cual en las regionalizaciones climáticas se suelen utilizar técnicas de reducción de la dimensión como el ACP antes del AC. Somos conscientes de que esta opción puede entrañar riesgos por la existencia de estacionalidad en las series temporales, algo que pueden causar problemas de redundancia, es decir, que exista ruido en las series lo que dificulta la identificación clara de la señal climática. Sin embargo, puede que este

hecho no tenga relevancia en nuestro caso por las razones que a continuación exponemos:

- Las series de totales mensuales reducen el ruido respecto a las series diarias, mucho más variables temporal y espacialmente, por lo que este problema se *suaviza o atenúa*.
- Para cada valor mensual la medida de similitud entre dos series se calcula, par a par, en cada fecha, por lo que para un instante determinado el valor de afinidad es sincrónico eliminándose este efecto.
- Aunque anticipamos aspectos metodológicos, la medida de similitud entre los casos ha sido el coeficiente de correlación de producto momento de Pearson que incorpora la similitud entre valores estandarizados, por lo que se reduce el efecto de ruido en cada serie. Aún más, la estacionalidad puede ser un rasgo que interese incorporar como una forma de identificar diferencias espaciales en el régimen de precipitación. La agrupación podría, de este modo, identificar cuantitativamente la estacionalidad de precipitación dentro del ciclo anual, diferenciando el contraste en la estacionalidad entre regiones. La identificación de zonas de similar variación estacional en las precipitaciones, es una información muy valiosa para los ecosistemas y la gestión de recursos hídricos, especialmente en una región donde estar varios meses por debajo del promedio, pueden indicar el inicio de un periodo de sequía.

En cuanto a las formas de organización que presentan las series temporales: tendencia, ciclos, o cambios en la variabilidad, si se detectara alguna de ellas en todos los puntos de medición, introduciría una perturbación en el estudio y debería ser eliminada. En caso contrario no sería necesario.

Si tuviésemos series con tendencia, como sería debido a las temperaturas, ésta absorbe gran parte de la correlación, por lo que nuestras medidas de distancia podrían estar muy sobrevaloradas. A veces lo que está correlacionado es la tendencia y no la variación, en cuyo caso tanto el efecto de la tendencia como el de la estacionalidad tendrían que ser eliminadas, en caso de que nos interesase.

En cuanto a la precipitación, los estudios llevados a cabo en Andalucía para comprobar la existencia de tendencias significativas en las series de precipitación mensuales, han puesto de manifiesto que no se detectan, a excepción de las series mensuales de marzo que presentan tendencias negativas significativas (Aguilar-Alba, 2007; Aguilar-Alba y Del Moral Ituarte, 2010; Castro Díez, 2007; Gonzalez-Hidalgo *et al.*, 2009; Ruiz Sinoga *et al.*, 2011).

Estudios recientes, como el llevado a cabo por Ruiz Sinoga y otros, analizan la variabilidad temporal de la precipitación a fin de detectar si para la vertiente mediterránea andaluza se ha producido una disminución de las precipitaciones. El trabajo concluye que no se detectan tendencias significativas globales a lo largo del período de análisis (1960-2006), no obstante, observaron tendencias locales de diferente signo dentro del área de estudio (Ruiz Sinoga *et al.*, 2011).

Igualmente, Fernández-Montes y Rodrigo concluyen, con datos recogidos hasta 2007, que la precipitación anual no experimenta cambios a largo plazo en la mayor parte de la región (80%); sin embargo se detectan también algunas tendencias negativas en las zonas más húmedas del noroeste montañoso. En la región más árida del sur y sureste, debido a los cambios durante el invierno, se aprecia una ligera recuperación de los valores (Fernández-Montes y Rodrigo, 2015).

Estos resultados indican que existen diferencias espaciales de comportamiento que aunque sin significación estadística, pueden servirnos para discriminar ámbitos espaciales. Estas tendencias no uniformes en todo el territorio, se pueden considerar una característica más de las series de precipitación.

#### **6.2.1.4. Normalidad de los datos y funciones de distribución de las variables**

La mayoría de los métodos multivariantes se basan en la hipótesis de normalidad de los datos originales. Sin embargo, los algoritmos del AC agrupamiento no restringen los datos de entrada a una distribución estadística *a priori* (Unal *et al.*, 2003) ya que el objetivo de estos métodos es cuantificar las características de un conjunto de observaciones, más que una herramienta de inferencia estadística (Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004). Por lo tanto, los requisitos de normalidad y homocedasticidad, importantes en otras técnicas multivariantes, no necesariamente tienen que exigirse en el AC (Martínez Arias, 1999). Además, las precipitaciones serie en la Península Ibérica se ajustan mejor a funciones de distribución sesgada como la función de distribución gamma (Lana y Burgueño, 2000). En consecuencia, el análisis *cluster* resulta especialmente interesante en el estudio de las series de precipitación y de su variabilidad espacio-temporal en España.

Los problemas de incumplimiento de la normalidad son importantes cuando se trata de variables discretas, especialmente dicótomas. Puesto que los datos que manejamos son continuos, esta cuestión no tiene una e especial relevancia. Hay que recordar que ni el ACP ni el AC exigen explícitamente que las variables se distribuyan normalmente para que estos métodos funcionen de forma adecuada (Fovell y Fovell, 1993).

### 6.2.1.5. Valores atípicos y ausentes

La presencia de lagunas y datos anómalos puede afectar a los métodos de regionalización objetivos, por lo que resulta imprescindible tomar medidas y verificar que no existe riesgo de que afecten a los análisis. La identificación de grupos en los datos, especialmente si se trata de una base de datos de alta dimensión, resulta difícil si los datos contienen ruido y valores atípicos (*outliers*) (Ertöz *et al.*, 2003). En este sentido la utilización de la base de datos MOPREDAS garantiza la calidad de los resultados.

En el análisis exploratorio que llevamos a cabo, antes de proceder a la aplicación del AC, utilizamos la base completa de la AEMET a la que habíamos sometido a controles de calidad y depuración, incluida la detección de *outliers*, y hemos comprobado el efecto que produce en los análisis no disponer de una bases de datos tan robusta y fiable como MOPREDAS.

Como conclusión, podemos afirmar que la mayoría de las series climáticas poseen estructuras estacionales y autocorrelación espacial. La estacionalidad ha sido tratada de modos diferentes: agrupación basada en anomalías en las que se ha eliminado el efecto de la media, diferencia ante las medias de las series, etc. Pero el procedimiento elegido para nuestro estudio permite utilizar las series mensuales directamente, sus varianzas y la autocorrelación ya que, como comenta Jain, son propiedades de gran utilidad para mejorar la discriminación entre elementos y el proceso de agrupación (Jain *et al.*, 1999).

### 6.2.2. Los datos de precipitación mensual en nuestra investigación

Los algoritmos de agrupación se usan para dividir las estaciones climáticas en regiones, basándose en la similitud de sus atributos, de ahí que la selección de éstos tenga una influencia decisiva en la composición de las regiones pluviométricas. Por consiguiente, es preciso plantearse qué tipo de información sobre la precipitación hay que utilizar ya que existen muchas posibilidades. En muchos estudios estadísticos se han utilizado para construir las matrices de los análisis medidas estadísticas que resuman las series (Easterling, 1989; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004). Esta aproximación presenta dos desventajas: elimina la disponibilidad de un conjunto de datos independiente para validar la homogeneidad regional resultante y, por otro lado, requiere un gran número de puntos de medición con registros largos que representen, con precisión, las medidas estadísticas obtenidas de las series de precipitaciones totales anuales (Satyanarayana y Srinivas, 2008; Satyanarayana y Srinivas, 2011). (Comrie y Glenn, 1998), o combinar algunos valores de precipitación mensual, la precipitación máxima mensual o el número de días de precipitación, etc.

- En nuestro caso, valoramos la inclusión, además de los totales mensuales de precipitación de otras **variables auxiliares** que mejoran la identificación de los patrones y grupos espaciales, como por ejemplo el número de días de precipitación. Esta variable podría ayudar en la distinción entre áreas más influidas por precipitaciones y ligadas a fenómenos convectivos de las de carácter frontal, lo que podría mejorar la zonificación pluviométrica de Andalucía. En caso de ser significativa, aparecería como factor que aporta información sobre los mecanismos predominantes en la generación y formación de lluvias en cada zona.

En el apartado de análisis exploratorio, se mostrarán algunas pruebas previas realizadas, incluyendo los totales mensuales y el número de días de precipitación al mes, a fin de comprobar si esta variable podía mejorar los resultados pero, finalmente, se comprobó que no los mejoraba, de modo que se optó por trabajar, únicamente, con las series de precipitación mensual por estaciones.

- En cuanto a la **extensión temporal de las series de precipitación**, se trata de una cuestión fundamental ya que condiciona el número de series disponibles, es decir, el tamaño de la muestra y determina la localización espacial de los puntos que presentan series en el periodo seleccionado. Esta última cuestión resulta relevante a la hora de establecer y delimitar los grupos espacialmente, ya que la información será diferente según el periodo de análisis seleccionado.

Puesto que nuestro objetivo es disponer de la máxima densidad espacial de estaciones para captar los matices en la distribución de la variabilidad de la precipitación, hemos trabajado con *dos bases de datos*, una personal en la que no acotamos el periodo temporal, MOPREDAS, y las estaciones vecinas seleccionadas de Portugal, todas referidas al periodo 1951 a 2005. Para ello se diseñó y organizó una matriz que contenía 39.710 registros cada uno, correspondiente a una estación y un año, construidas mediante el programa R (<https://www.r-project.org/>).

A fin de examinar los cambios que pudieran producir en los resultados la inclusión de diferentes periodos de estudio, se realizaron algunas pruebas, modificando el periodo de estudio analizado.



### 6.3. El análisis de conglomerados

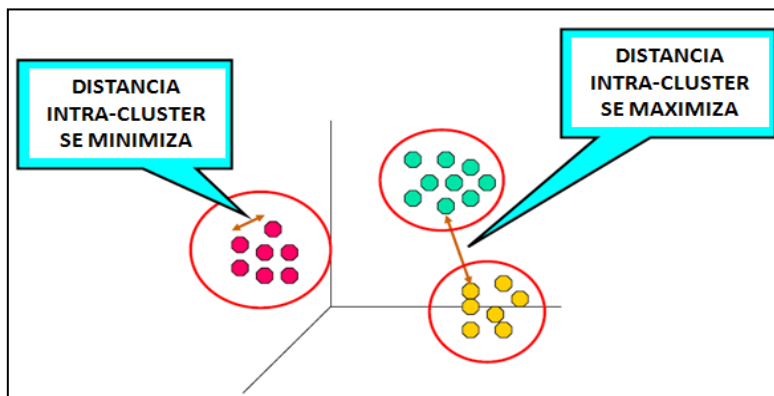
A fin de zonificar Andalucía en áreas pluviométricamente homogéneas, se analizaron las series temporales mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas del sur peninsular, incluyendo Portugal. La base de datos de precipitación (BDP) es muy amplia y diversa en su extensión espacio-temporal, lo que plantea diferentes posibilidades en su explotación ya que implica diferencias importantes en los resultados que se obtengan. Por esta razón, se realizó un estudio preliminar en el que se probaron diferentes opciones metodológicas sobre una BDP simplificada, a fin de valorar sus efectos en los resultados, decidir el procedimiento definitivo para la aplicación de esta técnica, y seleccionar la BDP más adecuada para verificar nuestras hipótesis. Así, este proceso se diseñó en dos etapas, una primera prospectiva y descriptiva (apartado 7.3.1), en la que se realizaron unos ensayos metodológicos previos, antes de decidir qué procedimiento final se emplearía, y una segunda etapa en la que se justifican las características y procedimientos elegidos, dentro de las técnicas de análisis de conglomerados que vamos a emplear (apartado 7.3.2). Pasamos a describir los contenidos de cada una de estas etapas, cuyos resultados serán objeto del siguiente capítulo.

#### 6.3.1. Elección del tipo de análisis de conglomerados

El análisis clúster o de conglomerados está muy condicionado por las decisiones que se tomen durante el proceso de análisis. Se ha demostrado que la elección tienen un efecto diferente sobre los resultados y determina, por ejemplo, el tipo de sesgo inherente a cada tipo de agrupamiento condicionado, sobre la distribución espacial de los datos y la correlación entre las variables utilizadas para definir las regiones (DeGaetano, 2001).

Como se representa en la siguiente figura (Figura 1.6.), la finalidad del AC es formar conglomerados con un alto grado de homogeneidad interna y heterogeneidad externa.

Figura 1.6. Finalidad del análisis de conglomerados



Fuente: Pardo (2010)

Los métodos difieren en cómo se calcula la distancia entre los elementos de entradas y cómo se definen los dos más cercanos. En el AC se establecen una serie de fases que a grandes rasgos pueden resumirse en:

- a) *Selección de las variables que favorezcan la agrupación de datos.* En nuestro caso tomaremos las series mensuales de precipitación mensual completas.
- b) *Elección del procedimiento de conglomeración* en el que hay que elegir la tipología de análisis de conglomerados que mejor se adapte al caso de estudio.
- c) *Elección de las medidas de distancia y proximidad.* El análisis clúster define los grupos a partir del cálculo de distancias o similitudes entre los valores de las variables seleccionadas. Cada par de elementos son valorados por la similitud de sus registros, por lo que hay que definir una medida de proximidad para cuantificar la *cercanía* entre los objetos.
- d) *Selección del algoritmo de clasificación de los conglomerados.* Sobre la base de la distancia, se miden los objetos que serán asignados a cada grupo según el algoritmo elegido, de manera que las diferencias entre ellos se maximicen y las observaciones dentro de un grupo sean lo más cercanas posible.
- e) *Decisión sobre el número de conglomerados.* La decisión acerca del número óptimo de *clusters* es subjetiva aunque existen procedimientos gráficos que permiten orientarnos.
- f) *Presentación, validación e interpretación de los resultados.* Si el resultado obtenido no es validado, hay que introducir modificaciones para mejorar el proceso y habrá que repetir el análisis hasta satisfacer los criterios mínimos de validez.

Iremos viendo cada una de estas etapas en detalle para justificar nuestra elección metodológica.

### 6.3.1.1. Selección de las variables que favorecen la agrupación de datos

En nuestro caso, tomaremos del estudio las series de precipitación mensual completas. Sabemos que en el régimen anual, los meses de verano tienen un comportamiento muy diferente al resto del año, con una enorme variabilidad y con ausencia de precipitaciones generalizadas. Por esta razón, nos planteamos **valorar el efecto del verano** en el análisis realizado sobre las series completa ya que la alta proporción de días sin precipitación dificulta el proceso de regionalización de la misma. Según

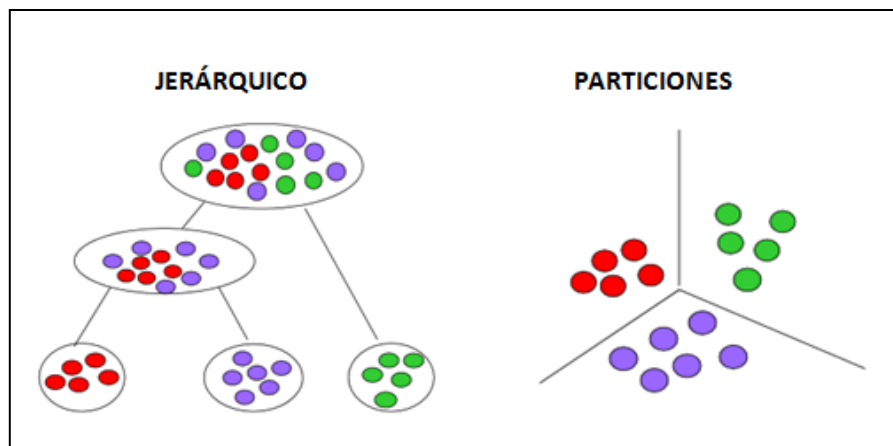
algunos estudios, a este problema se han dado diferentes soluciones, y así Romero y otros tomaron como estrategia introducir en el análisis sólo aquellos días en los que al menos el 5% de las estaciones registran más de 5 mm, capturando la mayor parte de los eventos extremos, en general de tipo convectivo. Se excluyen las lluvias abundantes, muy locales, producidas por células aisladas, pero este tipo de precipitaciones no constituye el objeto de una generalización que busca áreas afines (Romero *et al.*, 1999a).

En nuestro caso, hemos optado por realizar un análisis eliminando la estación estival, a fin de valorar un efecto que podía alterar los grupos pluviométricos ya que presenta un patrón espacial diferente. Esta sospecha se basa en resultados anteriormente obtenidos para Andalucía aplicando, igualmente, un análisis *clúster* en el que parecían definirse mejor las agrupaciones y en el que se eliminaban los meses estivales (Pita López *et al.*, 1999)

### 6.3.1.2. Elección del procedimiento de conglomeración

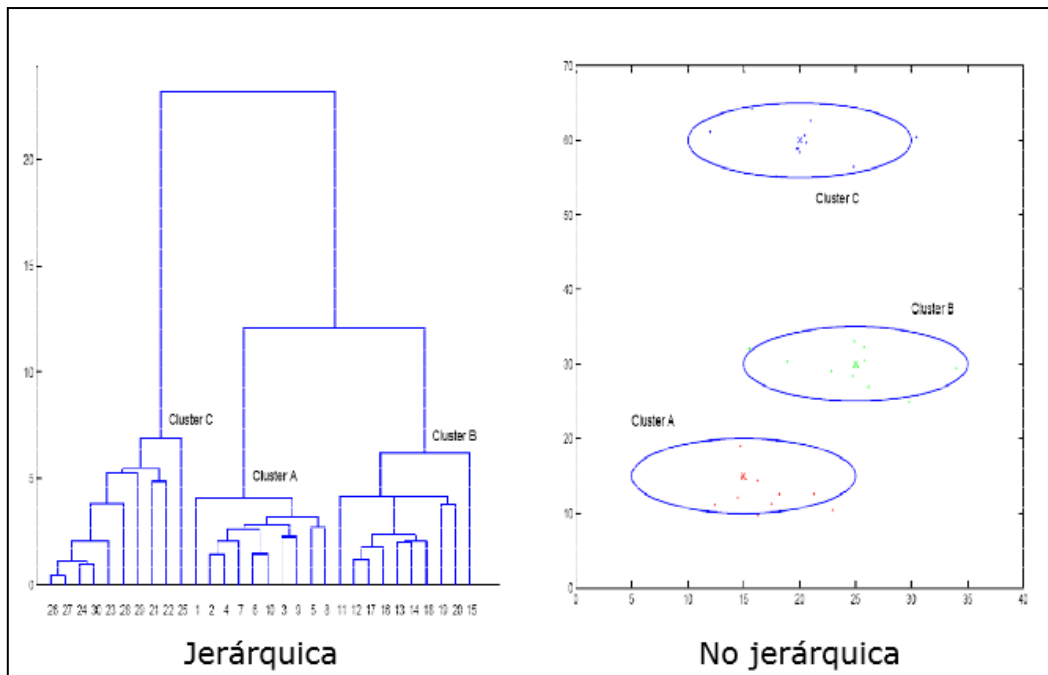
Como comentamos en el capítulo anterior dedicado a los métodos de regionalización, dentro de las técnicas de AC existen dos grandes tipologías clásicas: los procedimientos jerárquicos y no jerárquicos. En los métodos de *clúster* jerárquico no se conoce previamente el número de grupos a formar, mientras que en los no jerárquicos, se parte de un número fijo que define el usuario. Este último tipo requiere una especificación previa tanto del número de grupos como de sus centroides (denominados *semillas*). Este tipo de métodos se basan en el intercambio de objetos y permiten la redistribución de los clúster (Argüeso *et al.*, 2011) por lo que no resultan adecuados para explorar la configuración que los elementos definen *por sí mismos*, ya que dificulta su identificación (Figura 2.6).

Figura 2.6. Diferencias entre el análisis de conglomerados jerárquico (dendrograma) y no jerárquico en sus formas de representación.



Fuente: Pardo (2010)

**Figura 3.6. Representación gráfica de análisis de conglomerados jerárquico (dendrograma) y no jerárquico.**



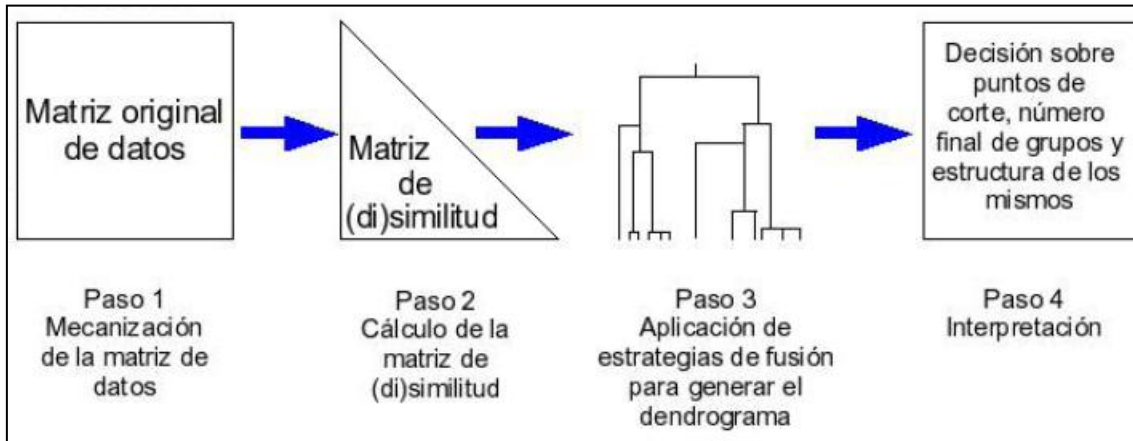
Fuente: Justel (2010)

El ACJ presenta la ventaja de que, se desconoce el número óptimo de conglomerados y, además, tiene la particularidad de permitir el corte del *árbol de relaciones* a diferentes niveles o distancias, por lo que el usuario puede escoger la clasificación (número de grupos) que considere más adecuada. Así mismo este análisis permite la elección de varios niveles, subdividiendo aquellas clases menos homogéneas o con mayor número de elementos (Figura 3.6).

Se puede elegir el número final, basado en esta representación del proceso, en una figura gráfica en forma de árbol, denominada dendrograma que permite representar las sucesivas agrupaciones. La elección no presenta dudas ya que nuestro objetivo es tratar de conocer cuántas zonas pluviométricas diferentes pueden ser identificadas en Andalucía, por lo tanto el AC jerárquico (ACJ) es el método que vamos a aplicar.

Partiendo de tantos grupos como elementos existen inicialmente, se agrupan hasta llegar a un único grupo final quedando todos los componentes clasificados (en nuestro caso estaciones). No existe un criterio consensuado a la hora de decidir el número de grupos que se seleccionan, aunque existen diversas pruebas, como veremos más adelante. El proceso queda resumido en la siguiente figura (Figura 4.6):

Figura 4.6. Etapas en la clasificación jerárquica.



Fuente: Alcaráz Ariza (2013)

El ACJ tiene como desventajas que es un método sensible respecto a las primeras agrupaciones que se forman, que no permite el intercambio de objetos entre grupos una vez que se han fusionado y, por tanto, ciertos objetos podrían quedar *peor clasificados* o fuera de lugar.

### 6.3.1.3. Elección de las medidas de distancia y proximidad

Puesto que el objetivo del AC consiste en encontrar agrupaciones *naturales* del conjunto de individuos de la muestra, es necesario definir qué criterio se puede establecer para afirmar que dos elementos o grupos son más o menos similares. Para unir variables es necesario tener algunas medidas numéricas que caractericen las relaciones entre variables y que los valores que toman entre el par de individuos sean comparables. Cada medida refleja la asociación en un sentido particular, siendo necesario elegir la adecuada para el problema concreto que se esté tratando (Gallardo, 2014). A partir del método elegido se calcula la matriz de distancias sobre la que se basan y posteriormente, los restantes procedimientos del análisis lo que puede tener un efecto importante en los resultados de la agrupación (Mimmack *et al.*, 2001).

Existen básicamente dos clases de métrica para obtener la distancia entre pares de elementos: las distancias métricas (miden la *disimilitud*) y los coeficientes de correlación (cuantifican la similitud). Vamos a describir algunas de las más utilizadas.

- **Distancias métricas (*disimilitud*)**

Las medidas de disimilitud miden la distancia entre dos objetos de forma que cuanto mayor sea su valor, más diferentes son los objetos y menor la probabilidad de que los métodos de clasificación los asignen en el mismo grupo (y viceversa).

Destacamos las más conocidas y utilizadas:

- Distancias *euclídeas*: La distancia euclídea es la disimilaridad más conocida y fácil de comprender, pues su definición coincide con el concepto de distancia. Se mide como la distancia lineal entre valores de una magnitud.
- Distancias de *Canberra*: Se trata de una distancia en la que se estandarizan las diferencias dividiendo por la suma de los valores y es más apropiada cuando las variables no están normalizadas y hay diferencias significativas en los rangos de valores.
- Distancias de *Mahalanobis*: es una medida de distancia introducida por este investigador en 1936. Se diferencia de la distancia euclídea en que tiene en cuenta la correlación entre las variables aleatorias.

- **Coeficientes de correlación (similitud)**

Las medidas de similitud miden el grado de semejanza entre dos objetos de forma que, cuanto mayor es su valor mayor es el grado de similaridad que existe entre ellos y con más probabilidad los métodos de clasificación tenderán a ponerlos en el mismo grupo (y viceversa). Según el tipo de variable podemos utilizar

- Coeficiente de correlación de *Pearson*: El coeficiente de correlación lineal producto momento de Pearson resulta de dividir la covarianza por el producto de las desviaciones típicas de las variables. El coeficiente de correlación de Pearson mide el grado de asociación lineal entre dos objetos, es decir, hasta qué punto dos objetos son proporcionales. A diferencia de otras medidas, este coeficiente no se ve afectado por las escalas de medidas utilizadas.

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n s_x s_y}$$

Este coeficiente toma en cada caso un valor comprendido entre -1 y 1, siendo su valor absoluto mayor cuanto más se parezcan ambas series temporales (la correlación entre dos series temporales iguales será de 1).

La distancia entre series se ha calculado como 1 menos el valor absoluto del coeficiente de correlación, de tal modo que cuanto mayor sea la correlación menor será la distancia.

$$1 - r_{xy}$$

- Coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. Los métodos de correlación por rangos se suelen aplicar a variables discretas, sobre todo de tipo ordinal; se trata de una alternativa no paramétrica al coeficiente de correlación Pearson y resulta más resistente a los valores atípicos (Lanzante, 1996).

Para caracterizar las relaciones entre los elementos, en nuestro caso las series de precipitación mensuales de cada observatorio, y con el fin de ir buscando los pares de estaciones más similares e ir asociándolos progresivamente, hay que definir una medida que cuantifique la disimilitud/similitud. Entre los dos sistemas antes mencionados, la primera de ellas, la métrica de distancias, es la más comúnmente utilizada en las ciencias de la atmósfera y, dentro de este grupo, la distancia euclídea es la más común para analizar la similitud entre series temporales y realizar los agrupamientos. Esta distancia requiere que las series que se comparan sean exactamente de la misma dimensión (longitud, periodo temporal de las series de datos) (Everitt *et al.*, 2011b). En determinadas aplicaciones se ha demostrado que es una medida de distancia muy frágil y presenta, además, el problema de que no tiene en cuenta ni la variabilidad de los datos ni la correlación existente entre ellos (Justel, 2010).

En el caso de nuestra investigación, la aplicación de alguna de estas distancias para el análisis *cluster* conllevaría el cálculo de distancias (diferencias) entre los valores de precipitación mensual de cada estación para cada mes y año. Este enfoque, aunque utilizado por autores en trabajos previos presenta una serie de desventajas:

- La precipitación mensual de una determinada estación en un mes determinado, está sujeta no sólo a tendencias generales sino también a multitud de factores ambientales locales, que pueden influir significativamente en un valor concreto aún sin modificar la tendencia o comportamiento general de la variable, a lo largo del tiempo. En estos casos, estaciones con comportamientos similares a las variables podrían presentar valores de distancia muy elevados, que las alejasen en la clasificación general.
- La aplicación del análisis de conglomerados en climatología se basa en la construcción de una matriz de distancias en la que la métrica más frecuentemente utilizada ha sido la distancia euclídea, válida si todos los datos se miden en la misma escala. Un problema que plantea utilizar esta medida es que no tiene en cuenta la correlación entre las variables; si están altamente correlacionadas esta distancia mide esencialmente la misma característica (Fovell y Fovell, 1993). Por lo tanto el uso de esta distancia exige:

- Que las variables no estén correlacionadas, condición que se ignora con frecuencia. Dos métodos suelen plantearse para hacer frente a la correlación entre las variables: la realización de un análisis de componentes principales antes de calcular distancias euclidianas, y el cálculo de la distancia de Mahalanobis en su lugar (Mimmack *et al.*, 2001). Esta limitación de la distancia euclídea es la que nos ha hecho elegir otras alternativas.
- Que los conjuntos de datos sean de baja dimensionalidad ya que la distancia euclídea no es la más adecuada para trabajar con un gran volumen de datos (Ertöz *et al.*, 2003).

Ya que nuestra variable es continua y los registros de precipitación no presentan ninguna de estas dos características, la distancia euclídea no podía ser elegida por lo que, siguiendo a Warren Liao (2005), nos planteamos ensayar con la correlación entre las series temporales como medida relativa de la distancia entre cada par de estaciones. Para ello se han eliminado en, cada caso, los pares de datos en los que alguna de las series temporales presentaba valores perdidos (NA) y se ha aplicado el coeficiente de correlación de Pearson.

La utilización de la matriz de correlaciones se aplica cuando diferentes variables tienen diferentes varianzas (Bettolli *et al.*, 2010; Jayawardene y Jayawardene, 2005). El uso de esta matriz da inicialmente el mismo peso a todas las variables de la matriz de entrada, que en nuestro caso son series de cada una de las estaciones meteorológicas utilizadas pertenecientes, en muchas zonas, a ámbitos muy contrastados pluviométricamente. El empleo de las series temporales completas permite captar la estacionalidad de la precipitación lo que permite comparar regiones con distintos regímenes de precipitación.

Están apareciendo propuestas metodológicas innovadoras, aún poco extendidas, relacionadas con las regionalizaciones climáticas y con medidas de proximidad tales como el coeficiente de correlación Q (Härdle y Simar, 2004) o la Distorsión Dinámica en el Tiempo (*Dinamic Time Warping*), mucho más robusta para medir distancias en series temporales, y ampliamente utilizada en diferentes campos científicos, al permitir la agrupación de series de diferente longitud o con desfase que dificulta la identificación de periodos de comportamiento similar (Ratanamahatana y Keogh, 2005, citado por Wang *et al.*, 2006). Nuestro estudio tiene un enfoque más pragmático y se basa en técnicas habitualmente empleadas en los estudios climáticos, lo que permiten la comparación con investigaciones similares.



#### 6.3.1.4. Seleccionar el algoritmo de formación de los conglomerados

Una vez definida la distancia y construida la matriz, es necesario especificar el método de agrupación que se utilizará para crear los *clusters*. Los métodos jerárquicos suelen subdividirse en métodos aglomerativos (ascendentes) y métodos divisivos (descendentes). El procedimiento ascendente fusiona desde los grupos más pequeños a los más grandes (aglomeración) y el segundo de forma inversa, mediante división desglosando en grupos, cada vez más pequeños, del conjunto total de datos. Los más habituales suelen ser los primeros ya que los segundos requieren muchos cálculos y acaban siendo poco utilizados.

El método aglomerativo parte de tantos *clusters* como datos tiene la muestra: se van uniendo grupos por pares siguiendo el criterio elegido hasta obtener un único *cluster* que contiene todos los datos. Cada método se diferencia por la estrategia de fusión y todos tienen en común que la primera unión se produce entre individuos similares.

Como explica Badr y otros, el AC por aglomeración jerárquica de agrupación (*Agglomerative Hierarchical Clustering*) presenta una serie de ventajas respecto a otros métodos, para las regionalizaciones climáticas

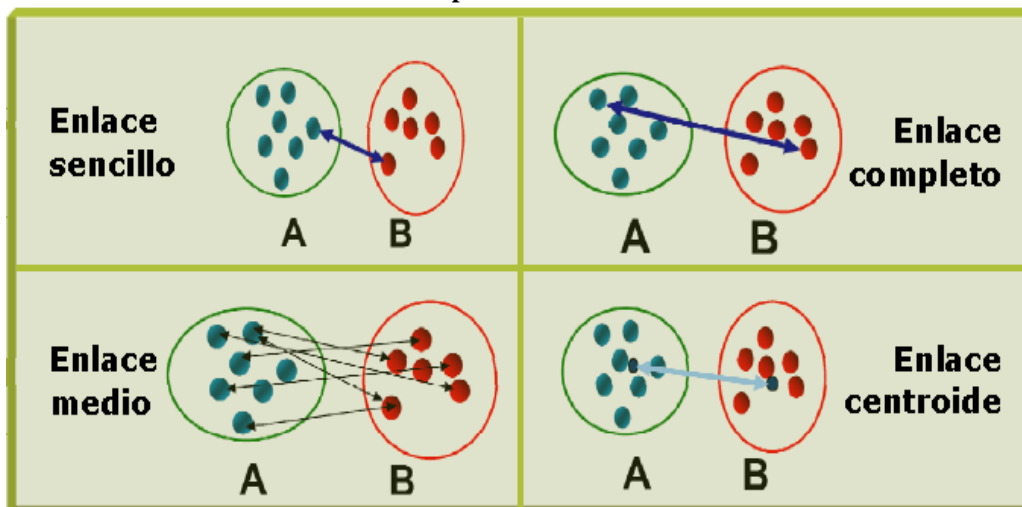
- En primer lugar, ofrece un procedimiento en el que la definición de los clúster resulta fácilmente comprensible ya que se van fundiendo sucesivamente elementos similares (o grupos de pequeño tamaño).
- En segundo lugar, los métodos de aglomeración ACJ son más deterministas, informativos y predecibles que los métodos no jerárquicos, muy variables, y que producen un conjunto poco estructurado de *clusters* que *a menudo* convergen en un óptimo local de poca calidad.
- En tercer lugar, estos métodos facilitan la validación de *clusters*, una cuestión que es quizás la más difícil en el análisis de conglomerados en general (Fovell, 1997; Fovell y Fovell, 1993) y aún más en los métodos no jerárquicos en los que se requiere un número predeterminado de *clusters* (Badr *et al.*, 2015).

El funcionamiento de los métodos de *cluster* jerárquico aglomerativo se basa en la agrupación sucesiva de elementos dos a dos, es decir, se parte de todos los elementos individuales y se agrupan por pares (los más similares). A partir de ese momento cada par pasa a funcionar como un elemento único que debe ser unido a otro (otro par). Este proceso se repite hasta obtener un único grupo que reúna a todos los elementos. Los algoritmos se diferencian en la forma en que calculan la similitud entre un par de *clusters* (Ramachandra Rao y Srinivas, 2006). Diferentes criterios producen agrupaciones distintas.

La principal diferencia que subyace en los algoritmos de aglomeración es el medio por el cual se mide la similitud entre los atributos de un lugar (Kalkstein *et al.*, 1987; Ramachandra Rao y Srinivas, 2006). La elección de la estrategia de fusión dependerá de los objetivos de la investigación pero existen diferentes métodos de enlace (*linkage*) que utilizan la proximidad entre pares de individuos para definir una *nueva distancia* y para unir grupos de individuos entre los que se encuentran:

- Enlace sencillo (*Single linkage*): utiliza la mínima distancia/disimilitud entre dos individuos de cada grupo (útil para identificar valores atípicos)
- Enlace completo (*Complete linkage*): es el método del vecino más lejano donde la distancia entre dos clusters es la máxima distancia/disimilitud entre dos individuos de cada grupo.
- Enlace promedio (*Average linkage*): la distancia entre *clusters* se calcula como la media (o mediana) entre pares utilizando las distancias/disimilitud entre todos los individuos de los dos grupos.
- Enlace de centroides (*Centroid linkage*): utiliza la distancia/disimilitud entre los “centros” de los grupos.
- Método de Ward (*Ward linkage*): utiliza la suma de las distancias al cuadrado de cada elemento con respecto al centroide que va a configurar cada conglomerado (Okabe, 2012) para obtener la mínima varianza. En cada paso se minimiza la suma de cuadrados dentro de los *clusters* sobre todas la particiones posibles obtenidas fusionando dos *clusters* del paso anterior.

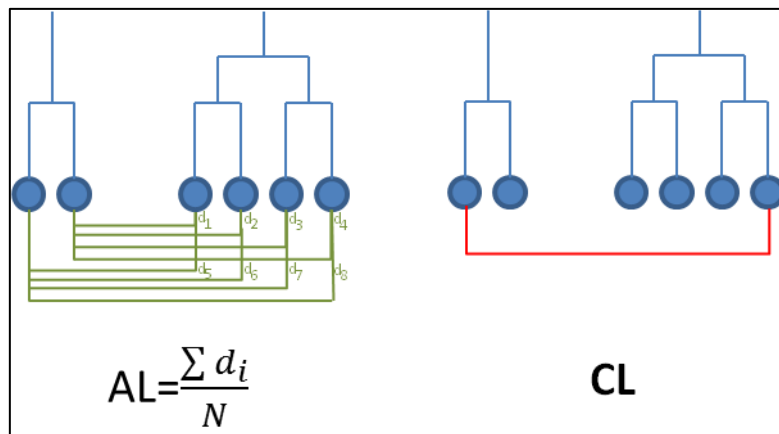
Figura 5.6. Alguno de los métodos de enlace (*linkage*) que utilizan diferentes distancias de proximidad.



Fuente: Justel (2010)

Todos estos métodos comienzan considerando cada observatorio como un grupo, a continuación, las dos estaciones que se identifican por tener la distancia más pequeña entre ellas se unen, formando un nuevo grupo de dos estaciones. De esta forma, el algoritmo actúa fusionando los dos grupos que tienen la menor distancia entre ellos en un solo grupo. Los métodos difieren, básicamente, en la forma en que definen la distancia entre dos grupos. Por ejemplo, el enlace sencillo de vinculación define la distancia entre grupos como la distancia mínima entre dos elementos, por el contrario el método del enlace completo emplea la distancia máxima (Ver Figuras 6.6. y 7.6).

**Figura 6.6. Cálculo de la distancia del enlace promedio (Average linkage, AL) y del enlace completo (Complete linkage, CL).**



Fuente:

La elección del método puede basarse en las características de las variables o del estudio, pero en la mayor parte de los casos se decide tras realizar un análisis exploratorio para verificar los resultados, tras aplicar diferentes procedimientos. En nuestro caso, seguimos estas recomendaciones llevando a cabo pruebas a fin de encontrar la opción más adecuada.

No obstante, los métodos no están exentos de limitaciones y, en ocasiones, éste ha sido un argumento utilizado para poner en duda la robustez estadística de las clasificaciones resultantes. Por ejemplo, todos los algoritmos de ACJ comúnmente utilizados son unidireccionales: una vez que los elementos, individualmente, han sido adscritos a un grupo no pueden ser reasignados. Los algoritmos ACJ también pueden verse afectados negativamente por el ruido en los datos de entrada, problema que no es insignificante en la mayoría de los registros climáticos.

En conjunto, las ventajas que ofrece el análisis de conglomerados jerárquico ha hecho que sea ampliamente utilizado por ser una herramienta versátil y práctica.

### 6.3.1.5. Decisión sobre el número de conglomerados

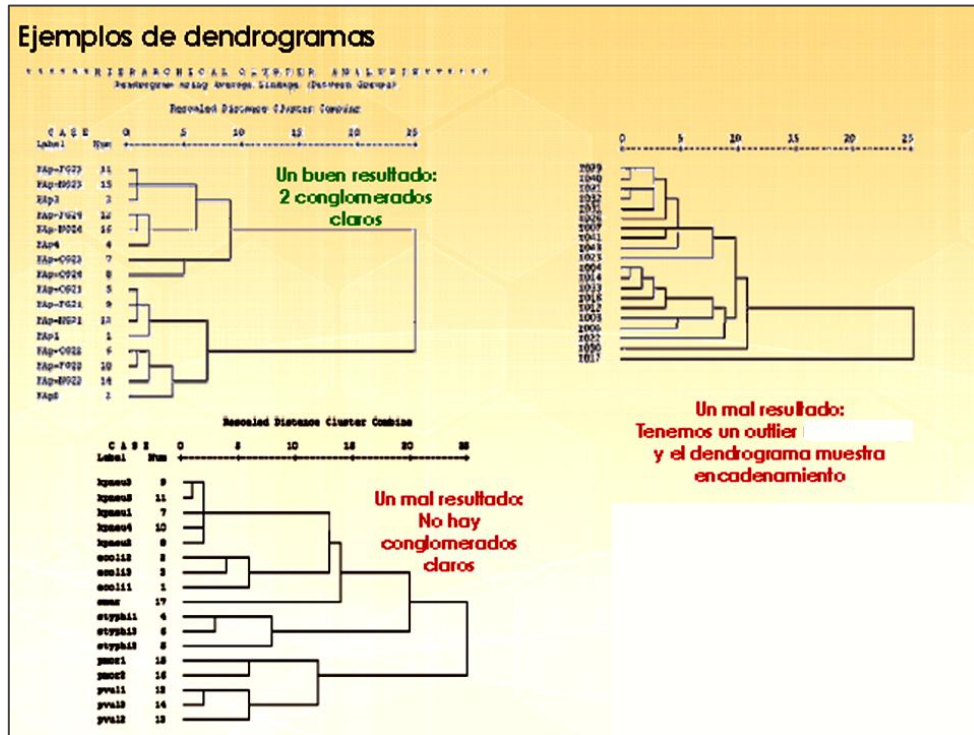
Las técnicas de AC son reconocidas por ofrecer una de las mejores aproximaciones en regionalización de la precipitación. Sin embargo, presentan como limitación la dificultad de identificar el número de grupos que mejor representa la *división natural* de regiones. Hay que partir de la idea de que no existen criterios objetivos ni técnicas consensuadas para determinar el número de grupos óptimos.

El procedimiento más simple para decidir el número de grupos es por *inspección subjetiva* aunque este procedimiento no es muy satisfactorio ya que puede estar sesgado por la visión personal de los investigadores. Podemos examinar el árbol de clasificación o dendrograma que representa el proceso de clasificación seguido, y decidir el punto de corte a diferentes niveles o distancias para escoger la clasificación (número de grupos) que se considere más adecuada. Así mismo este análisis permite la elección de varios niveles, tomando o subdividiendo aquellas clases menos homogéneas o con mayor número de elementos.

No obstante pueden presentarse algunos problemas en los algoritmos jerárquicos ya que según el algoritmo de cálculo de la distancia entre los grupos la formulación matemática puede distorsionar la clasificación a través de dos efectos (Rasilla Álvarez, 2000):

- El efecto de *encadenamiento* o asignación de nuevas observaciones a grupos ya existentes en vez de formar nuevos grupos (si bien puede utilizarse para identificar soluciones con grupos heterogéneos) (Figura 7.6).
- El efecto *bola de nieve* consiste en la generación de un grupo compuesto por numerosos casos y una constelación de grupos de mucho menor tamaño, generados a partir de casos atípicos. Este efecto no es del todo perjudicial, ya que detecta casos anómalos, cuando su frecuencia no supera el 5 % del total.

Figura 7.6. Criterios de calidad en el análisis visual del dendrograma.



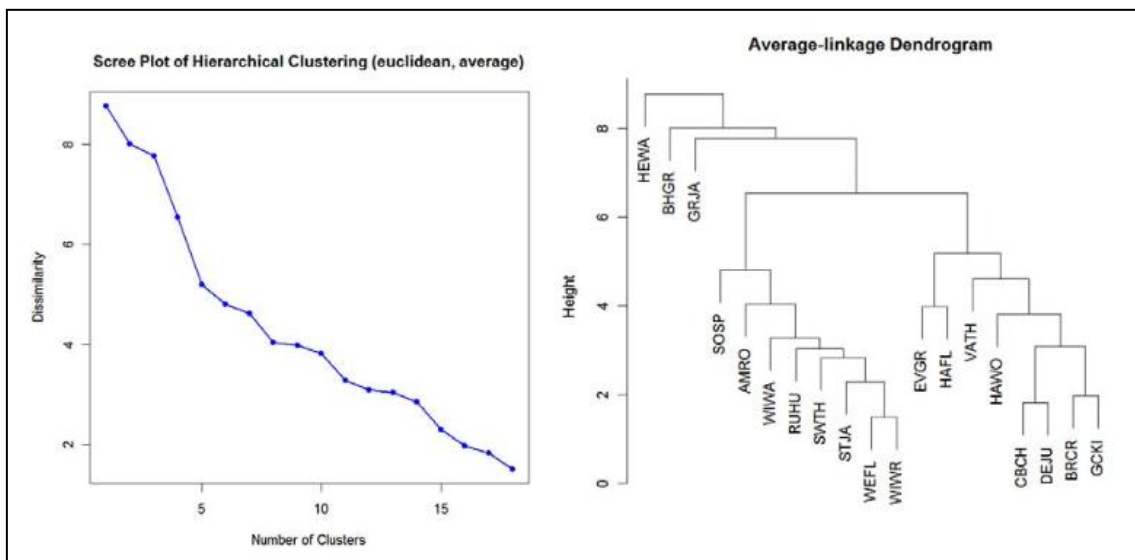
Fuente: Varela Mallou y otros (2015).

Para tomar una decisión sobre el número de *clusters* se suelen representar los distintos pasos del algoritmo y la distancia a la que se produce la fusión. El **gráfico de evolución de las fusiones** es similar al de sedimentación (*scree test*) (Cattell, 1966), propuesto inicialmente para la elección del número de componentes en el análisis factorial. Consiste en colocar en el eje de abscisas los valores de los índices de agregación de las distintas etapas del algoritmo de clasificación utilizado y, en el eje de ordenadas, el número de conglomerados correspondiente a cada uno de los índices. Una vez obtenida una curva, se observa un primer tramo con una pendiente descendente donde el decaimiento es muy rápido para un intervalo de índices de agregación relativamente pequeño y, un tramo en donde la pendiente es muy pequeña y el decaimiento es muy lento. Se identifica el *codo* o cambio en la misma, siendo el número de conglomerados óptimo recomendado como solución final, el último valor del primer tramo del gráfico de sedimentación, antes de esta inflexión (<http://personal.us.es/analopez/ac.pdf>).

Mediante la visualización de las medidas de distancia a la que los grupos se fusionan en cada paso de dos en dos los grupos por similitud apreciamos el punto de corte, que será aquel en el que comienza a producirse un cambio abrupto, con una inflexión en la tendencia de la secuencia de agrupamiento, indicando que dos *clusters* muy diferentes se han fusionado que marca el momento de selección del número de grupos justo antes de que esto suceda (Figura 8.6).

Tanto a través del dendrograma o el gráfico de evolución de fusiones el usuario puede escoger en la clasificación el número de grupos que considere más adecuada. A pesar de que existen otras reglas estadísticas *objetivas* que permiten orientar en la determinación del número de *clusters óptimo* (Jain y Moreau, 1987; Milligan y Cooper, 1985), siempre hay una componente subjetiva que depende de los datos y de la dificultad de establecer la significación estadística de los resultados. Por todas estas razones el número adecuado se determina según el nivel de detalle deseado, en función de su aplicación final y basada en el conocimiento del caso de estudio, lo que permite elegir un número de *clusters* que sea fácil de interpretar.

**Figura 8.6. Dendrograma y gráfico de sedimentación (scree test) para determinar el número de clusters.**



Fuente: (<http://www.umass.edu/landeco/teaching/multivariate/schedule/cluster1.pdf>)

En el caso de las regionalizaciones climáticas, los criterios utilizados para comprobar la validez del clúster pueden variar según los objetivos del análisis (Fovell, 1997). Hay que tener en cuenta que la mayoría de las variables cambian gradualmente en el territorio, por lo que más que la identificación de grupos verdaderos y sus límites, el objetivo del AC es conseguir una división en un número *adecuado* de tipos de clima, más allá de la orientación que los métodos gráficos o cuantitativos proporcionen.

### 6.3.1.6. Validación estadística de los grupos

La validación es una etapa importante en el análisis de conglomerados ya que los métodos de AC tienden a generar agrupaciones incluso en conjuntos de datos bastantes homogéneos. Henning explica que “la mayoría de los métodos de la agrupación asumen un cierto modelo o prototipo para los grupos, lo cual puede ser válido para algunas partes de un conjunto de datos pero no para otras. Un aspecto importante a la hora de validar el AC es la estabilidad, entendida como el hecho de que

un grupo identificado como válido no debe cambiar significativamente si el conjunto de datos es modificado (no sustancialmente). En términos de modelos estadísticos vendría a decir que un conjunto de datos extraídos de la misma población con una determinada distribución subyacente debe dar lugar, a más o menos, a una misma agrupación (aunque la verdadera distribución subyacente sea desconocida)”(Hennig, 2007).

La estabilidad en el análisis de conglomerados es muy dependiente del conjunto de datos, especialmente de cómo los grupos resulten de homogéneos y bien diferenciados ya que en una misma agrupación, algunos pueden ser muy estables y otros extremadamente inestables.

La validación de la clasificación se realiza comprobando mediante pruebas estadísticas que los grupos sean suficientemente homogéneos internamente. En nuestro caso, para valorar la estabilidad del análisis de conglomerados realizado, se ha utilizado un test estadístico basado en el índice medio de Jaccard (Jaccard, 1901). El número de Jaccard mide la estabilidad de un *cluster*, es decir, las veces que los elementos de este *cluster* aparecen agrupados repitiendo la clasificación con diferentes conjuntos de muestras (procedentes de un *bootstrap* de la muestra original). El test evalúa la frecuencia con la que cada uno de los grupos obtenidos en un análisis *cluster* jerárquico, a un nivel determinado, se reproduce en la clasificación cuando se llevan a cabo diferentes muestreos de los datos.

El test devuelve el valor medio del índice de similaridad de Jaccard en todos los remuestreos: cuanto mayor sea este índice, menos probable es que la formación del *cluster* sea debida al sesgo de muestreo. Se ha determinado (Hennig, 2007) el valor del índice medio de Jaccard:

- Inferior a 0.5 indica que los *clusters* pueden haberse formado aleatoriamente.
- Entre 0.6 y 0.75 indica que pueden existir patrones en los datos.
- Entre 0.75 y 0.85 los *clusters* hallados pueden considerarse estables ante el remuestreo.
- Con más de 0.85 los *clusters* son altamente estables.

Este índice se puede aplicar de forma general para todos los métodos de análisis de conglomerados, si bien hay que puntualizar que la estabilidad no es el único aspecto que puede validar un AC y, por lo tanto, un grupo estable no garantiza necesariamente que sea un patrón significativo. Por esta razón también se utilizan otros métodos alternativos de validación como tales como simulaciones mediante test de heterogeneidad (Farsadnia et al., 2014), momentos-L (Mamoon et al., 2014),

validación cruzada (Haddad et al., 2015), índices de homogeneidad y separación, comparación de diferentes métodos de agrupamiento aplicados sobre los mismos datos, validación visual, etc. (Halkidi et al., 2002; Halkidi et al., 2001; Milligan y Cooper, 1985).

Otra forma de proceder es aplicar un análisis clúster no jerárquicos o un análisis discriminante con el fin de validar y ajustar el número de conglomerados finales que se retienen del análisis (Baker et al., 2010; Hargrove y Hoffman, 2004; Hargrove y Hoffman, 1999; Saxon et al., 2005).

### 6.3.1.7. Presentación, validación e interpretación de los resultados

Con frecuencia es difícil juzgar la veracidad de los resultados, debido a que el AC implica que el investigador tiene que elegir entre diferentes medidas y procedimientos. Esta *libertad* hace que sea difícil, si no imposible, demostrar que se han identificado los verdaderos grupos *naturales*, lo que no resta calidad científica a los resultados obtenidos mediante estas técnicas si se aplican con rigor (Fovell, 1997).

Cualquier AC o clasificación, sólo será útil si puede ser interpretada dentro de la disciplina o área de investigación en la que se haya desarrollado el estudio. Una vez que la identidad de los grupos ha sido evaluada, y con ella la robustez de la clasificación, cada estación clasificada es asignada a su grupo correspondiente y todas son representadas espacialmente mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). El resultado final será satisfactorio cuando las regiones obtenidas reúnan las siguientes características:

- Ser homogéneas y geográficamente contiguas.
- Tener un tamaño consistente con la escala de análisis, como por ejemplo, presentar una estructura geográfica coherente con la zona de estudio, la cobertura y densidad espacial de los datos, así como con la dimensión de fenómenos climáticos que actúan.
- Verificar que el número total de regiones es consistente con las propiedades físicas inherentes de interés.

Debe realizarse, además, un análisis descriptivo de cada uno de los grupos obtenidos (Milligan, 1996). Este autor comenta que a partir de aquí se pueden plantear pruebas de contraste de hipótesis con el fin de verificar si la estructura de agrupamiento identificada es significativa o no. Advierte que no se deben emplear análisis tradicionales como ANOVA, MANOVA o análisis discriminante, ya que utilizan las mismas variables empleadas en el análisis *cluster*. La propuesta plantea, en esta fase,



otra aproximación usando dos tipos de análisis: uno basado en criterios externos (*External criterion análisis*), apoyándose en información auxiliar, y procedimientos internos (*Internal criterion análisis*) que obtienen medidas que cuantifican la fuerza de la asociación entre los *clusters* y los datos de origen. Como medidas o índices de validez del primer tipo, se pueden citar el índice de Rand o el Coeficiente de Jaccard, que comparan la agrupación resultante con una clasificación predeterminada *ideal*. El segundo conjunto, los procedimientos internos, validan la clasificación basándose únicamente en el conjunto de datos (de Morsier *et al.*, 2015).

Todos estos procedimientos deben ser combinados con la representación de la clasificación en el territorio, lo que permite evaluar la coherencia geográfica y climática de los grupos. En general, se recomienda comparar los resultados tras aplicar diferentes métodos de AC, lo que permite confirmar una agrupación ya que soluciones similares, generalmente, indican una estructura consistente y estable de la agrupación establecida; por el contrario, resultados muy diferentes suelen indicar una estructura pobre (Justel, 2010).

La validez de los *clusters* se juzga mediante una interpretación cualitativa que puede ser subjetiva. Si el resultado obtenido no es validado, hay que introducir modificaciones para mejorar el proceso y repetir el análisis hasta que se satisfagan los criterios mínimos de validez.

Por esta razón, antes de decidir sobre la metodología definitiva a emplear en nuestra regionalización, realizamos diversas pruebas para valorar las opciones que ofrecían resultados más coherentes y concordantes con la climatología de la región.

### 6.3.2. Análisis exploratorio metodológico

Como hemos comentado anteriormente, el AC está muy condicionado por las decisiones que se toman durante el proceso de análisis, y que básicamente son dos: la distancia elegida como medida de la similaridad entre elementos y el algoritmo de agrupamiento que minimice la distancia entre los individuos dentro del grupo, y maximice la distancia entre grupos. El cambio en cada una de estas medidas puede modificar elementos de un conglomerado a otro, por lo que es necesario comprobar las decisiones que se van tomando durante el análisis.

Realizamos diversas pruebas preliminares para evaluar la opción que mejores resultados ofreciera en el proceso de regionalización de la precipitación en Andalucía, porque como dice Jain, “no existe una técnica de agrupamiento de aplicación universal que consiga descubrir las *estructuras ideales* presentes en los datos multidimensionales” (Jain *et al.*, 1999).

Partimos de un procedimiento jerárquico de agrupamiento ya que desconocemos, a priori, los grupos que se pueden identificar. A partir de aquí realizamos tres tipos de ensayos:

- Análisis exploratorio en el efecto de los datos de entrada sobre el análisis *clúster*.
- Análisis exploratorio *para* la elección metodológica de nuestra investigación a fin de valorar las diferentes opciones metodológicas del análisis *clúster* jerárquico relativas a la medición de distancias entre elementos y tipos de algoritmos de agrupamiento, para la formación de los *clusters*.
- Regionalización pluviométrica mediante análisis de componentes principales y *clúster* que permita contrastar los dos métodos fundamentales empleados en este tipo de estudios.

Describiremos muy brevemente en esta apartado ambas fases, que quedan resumidas en dos figuras ya que en el apartado de resultados correspondiente se abordarán con más detalle, y porque las cuestiones metodológicas relacionadas con las diferentes opciones han sido ya tratadas.

#### 6.3.2.1. Análisis exploratorio sobre el efecto de los datos de entrada

En la Figura 9.6 presentamos el esquema de esta primera fase prospectiva en la que pretendemos valorar el efecto de diferentes posibilidades en los datos de entrada y periodos de estudio. Ya hemos comentado el efecto que pueden tener estas cuestiones sobre los análisis y resultados por dos razones fundamentales:

- El periodo de estudio determina el número de estaciones, su densidad y distribución, que tienen un efecto muy importante sobre los resultados.
- A partir de los datos de entrada seleccionados se construye la matriz de distancias que será la base de todo el análisis posterior.

En esta fase, a su vez, hemos realizado tres tipos de pruebas empleando la base de datos de la AEMET previamente depurada en la primera de ellas, y MOPREDAS en las siguientes. La razón de esta elección es probar la posibilidad de introducir la máxima extensión de las series que permitiese incluir *todo el banco de datos* sin la exigencia de que estas series tuviesen el mismo periodo temporal de referencia. Si el patrón espacial *fuese más fuerte* que las variaciones temporales, obtendríamos la máxima densidad espacial de puntos, logrando una precisión mayor en el número de zonas y en sus límites espaciales. Esta opción es arriesgada ya que mezcla dos aspectos tratados de forma separada: por un lado el proceso estático, es decir, la identificación

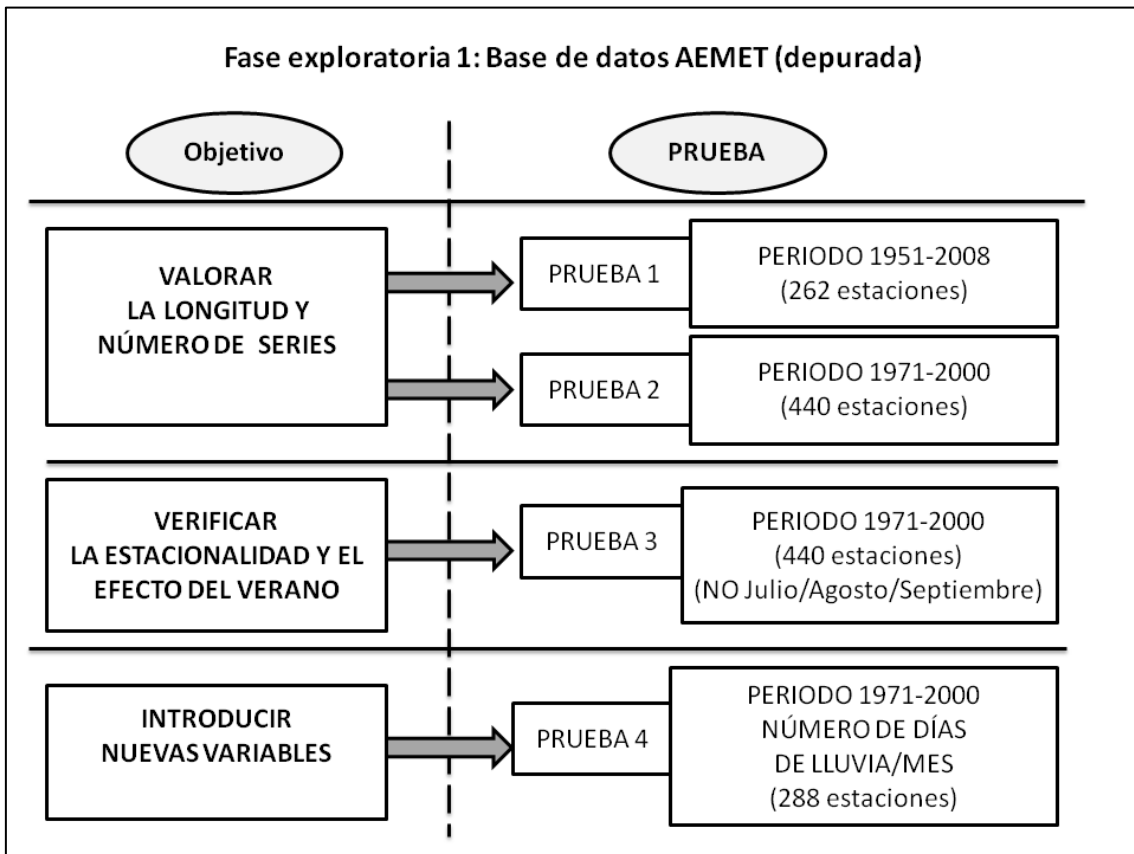
de las regiones en un momento dado, y por otro el dinámico, que analizaría la permanencia de esas regiones en el tiempo. Los resultados muestran el peso de los principales factores determinantes de la distribución espacial de la precipitación mensual en Andalucía.

Los tres tipos de ensayos realizados son:

**a) Valoración del periodo de estudio y número de estaciones.**

En este sentido, realizamos una prueba secuencial de la importancia del periodo de observación que determina el número de observaciones, probando con dos periodos de extensión temporal diferente. El resultado de esta prueba, pondrá de manifiesto la incidencia del tiempo en relación a la cobertura espacial del número de estaciones resultantes, con datos para cada periodo establecido (Figura 9.6).

**Figura 9.6. Esquema de la primera fase exploratoria sobre el efecto de los datos de entrada en la realización del análisis de conglomerados.**



**b) Efecto de la estacionalidad de las series de precipitación.**

Al aplicar el AC directamente sobre las serie de valores mensuales éstas pueden contener información redundante debido a la presencia de *estacionalidad*. Por lo tanto, no detectaríamos la señal climática *limpia* que es la información esencial de las series. Para eliminar este efecto habría que realizar un análisis de cada estación del año o a escala mensual. No obstante, el régimen anual de la precipitación presenta contrastes estacionales muy marcados que podrían variar en el territorio y reflejar un patrón espacial distinto, lo que ayudaría a diferenciar los grupos. Ya que el verano es la estación que mayor contraste presenta, realizamos una prueba de AC eliminando los meses estivales a fin de verificar su efecto en el régimen de precipitaciones.

**c) Inclusión de otras variables.**

En nuestro caso, se trata de la inclusión de los totales mensuales de precipitación de variables auxiliares que mejoran la identificación de los grupos espaciales. Elegimos el número de días de precipitación ya que disponíamos de esta información en la base de datos de AEMET con suficiente número de de estaciones. Realizamos un AC utilizando únicamente esta variable para comprobar si aportaba alguna información relevante. Pensamos que esta variable facilitaría la distinción entre las áreas más influidas por mecanismos convectivos de precipitación de las de carácter frontal, lo que podría mejorar la zonificación pluviométrica de Andalucía, respecto a la obtenida, incluyendo únicamente las series mensuales.

**6.3.2.2. Análisis exploratorio metodológico sobre el *clúster* jerárquico**

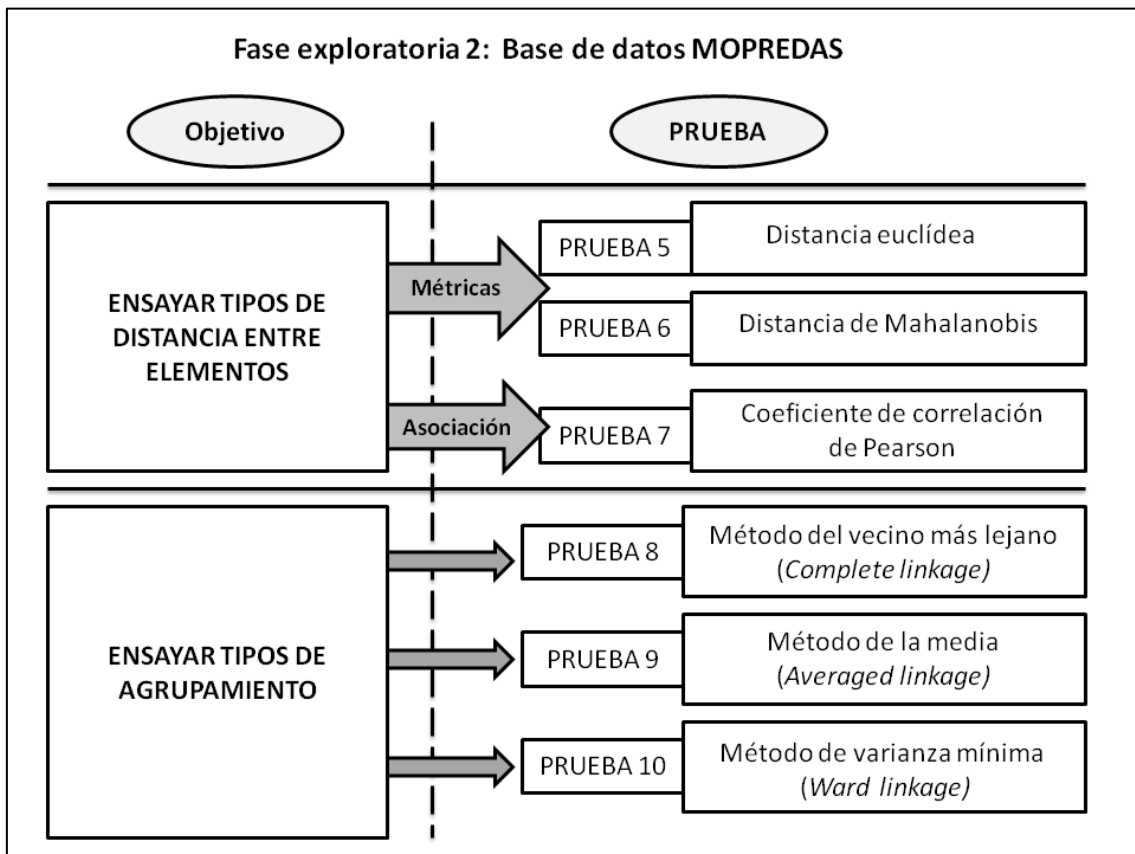
Una vez elegidos los datos de entrada hay que tomar dos decisiones: la medida de similaridad entre elementos y el algoritmo de formación de los *clusters*. En esta segunda etapa, modificamos los datos de entrada utilizando MOPREDAS dado que los resultados previamente obtenidos, nos indujeron a comprobar también el efecto de otra base de datos sobre los resultados.

En la siguiente figura se resumen los ensayos efectuados, probando diferentes procedimientos con las dos distancias que deben ser elegidas y que, como han mostrado algunos autores, afectan a los resultados de las regionalizaciones climáticas (Figura 10.6). Del extenso abanico de posibilidades metodológicas hemos probado con aquellas medidas más utilizadas en estudios similares y que han probado su eficacia.

**a) Diferentes distancias de similitud entre elementos**

La primera decisión en el proceso de clasificación es elegir el criterio de similitud entre los elementos. Aplicamos tres tipos de medidas, dos de carácter métrico, la distancia euclídea, muy empleada en regionalizaciones climáticas, y la distancia de Mahalanobis, y una tercera, el coeficiente de correlación de Pearson, como medida de asociación de la distancia entre elementos. Los resultados obtenidos con cada una de ellas nos permitieron elegir la más adecuada para nuestra regionalización pluviométrica

**Figura 10.6. Esquema de la segunda fase exploratoria sobre el proceso metodológico del cluster jerárquico.**



Fuente:

**b) Diferentes tipos de algoritmos de agrupamiento**

La segunda decisión es elegir el procedimiento de formación de los *clusters*. Por referencias de trabajos similares, sabemos que el método de Ward es uno de los que mejores resultados ofrece en los procesos de definición de regiones climáticas homogéneas. No obstante, queríamos contrastar los resultados que se obtenían con otras distancias, el enlace completo (*complete linkage*) y el método de la media (*average linkage*), uno de los más utilizados.

### 7.3.2.3. Análisis de componentes principales y *clúster*

La mayoría de las regionalizaciones climáticas, como hemos visto en el capítulo anterior, han sido realizadas en pasos sucesivos combinando el ACP y AC para obtener la clasificación final a partir de las componentes seleccionadas. También ensayamos este procedimiento de regionalización no como una elección metodológica, sino como un análisis exploratorio más, a fin de contrastar los resultados de estas técnicas con las restantes clasificaciones obtenidas. La razón ha sido que esta metodología se ha aplicado de forma directa sin probar muchas de las variantes que este tipo de trabajos aborda, selección de diferentes componentes principales, rotaciones, etc.

Nuestro objetivo era comprobar que los resultados finales de la metodología seleccionada eran coherentes con el procedimiento más frecuente, a fin de validar la estabilidad y consistencia de nuestra regionalización.

Se aplica un ACP sobre la base de datos MOPREDAS que presenta una buena densidad espacial y que garantiza la calidad de los resultados de estas técnicas. Posteriormente se aplica un AC jerárquico empleando los procedimientos más habituales en climatología: la distancia euclídea y la distancia de Ward como algoritmo de agrupamiento. Podremos así comparar ambas regionalizaciones y valorar los resultados desde un punto de vista metodológico, geográfico y climático.

## 6.4. Elección de la metodológica final.

Como acabamos de describir, el análisis *clúster* consiste en un conjunto de herramientas cuyo objetivo es construir grupos (*clusters*) con propiedades homogéneas, a partir de grandes muestras heterogéneas. Los grupos deberían ser lo más homogéneos posible y las diferencias entre ellos, las mayores que puedan obtenerse (Everitt *et al.*, 2011a).

En nuestro caso, y puesto que no partimos de grupos definidos *a priori*, hemos elegido el método de agrupamiento jerárquico por ser el más adecuado ya que nuestro objetivo principal es establecer una regionalización pluviométrica

A partir de aquí, hay que decidir qué medidas de similitud adoptamos entre elementos y qué métodos de formación de grupos elegimos. Nuestra elección se basará en las experiencias y resultados que puedan ser relevantes tales como:

- Estudios previos con fines similares
- Investigaciones llevadas a cabo en nuestro ámbito de estudio o en zonas con características similares.

- Resultados del análisis prospectivo metodológico.

Iremos describiendo dentro del esquema de las etapas de un AC nuestra opción metodológica:

- *Selección de las variables que favorezcan la agrupación de datos.* Tomaremos del estudio las series completas de precipitación mensual en su sucesión temporal.
- *Elección del procedimiento de conglomeración.* Aplicaremos métodos de análisis de conglomerados jerárquicos aglomerativos ya que éstos han dado buenos resultados en un gran número de estudios climáticos de regionalización.

- *Elección de las medidas de distancia y proximidad entre elementos.* Hay que definir una medida de proximidad, para cuantificar la cercanía entre los objetos que, en nuestro caso, fue el coeficiente de correlación de Pearson como medida de similaridad.

Esta elección es uno de los aspectos más novedoso de nuestra aproximación ya que usamos como distancias la correlación entre las series temporales. El uso de coeficientes de correlación supone una métrica alternativa que puede identificar la estacionalidad de la precipitación en el ciclo anual, diferenciando, regiones con diferente régimen.

- *Seleccionar el algoritmo de agrupamiento de los conglomerados.* Tras los ensayos metodológicos iniciales, la distancia de Ward era la que mejores resultados proporcionaba, al igual que en otros muchos estudios sobre regionalizaciones climáticas.
- *Decisión sobre el número de conglomerados.* Emplearemos dos criterios para la elección final del número de grupos:
  - a. Análisis visual y espacial del dendrograma representando diferentes cortes mediante un SIG.
  - b. Gráfico de sedimentación (*scree test*) en el que hay que valorar la ruptura en la curva de formación de grupos que identifique un número *adecuado*.
- *Presentación, validación e interpretación de los resultados estadísticos.* Con el fin de valorar la estabilidad del análisis de conglomerados realizado, se ha utilizado el test del índice medio de Jaccard y la coherencia espacial y climática de los grupos que la representación ofrece, mediante un SIG.

En los siguientes capítulos procederemos a los resultados de la aplicación de esta metodología en su doble línea: análisis de las redes de observación y regionalización

pluviométrica. Previamente, presentaremos los resultados más destacados del análisis exploratorio de datos de nuestra metodología que nos acercarán al comportamiento de la distribución espacial de precipitación en Andalucía. La regionalización final se pondrá en relación con el estado de las redes actuales de observación pluviométrica, a fin de evaluar su representatividad espacial.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR-ALBA, M. 2007. Cambios y tendencias recientes en las precipitaciones de Andalucía. En: SOUSA, A., GARCÍA-BARRÓN, L. Y JURADO, V. (ed.) *El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medio ambientales*. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía.
- AGUILAR-ALBA, M. & DEL MORAL ITUARTE, L. 2010. Tendencias climáticas recientes y evolución de las aportaciones en embalses de cabecera del Guadalquivir: su incidencia en la planificación hidrológica. En: F. FERNÁNDEZ GARCÍA, E. G. G. Y. R. C. T. E. (ed.) *Clima, ciudad y ecosistemas* Madrid, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Ediciones del Serbal, Barcelona.
- ALCARAZ ARIZA, F. J. 2013. *Geobotánica. Ordenación y clasificación* [Online]. Murcia: Universidad de Murcia. Disponible: <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema12.pdf> [Acceso 15 de agosto 2015].
- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- BADR, H. S., ZAITCHIK, B. F. & DEZFULI, A. K. 2015. A tool for hierarchical climate regionalization. *Earth Science Informatics*, 1-10.
- BAKER, B., DIAZ, H., HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2010. Use of the Köppen–Trewartha climate classification to evaluate climatic refugia in statistically derived ecoregions for the People’s Republic of China. *Climatic Change*, 98, 113-131.
- BETTOLLI, M. L., RIVERA, J. A. & PENALBA, O. C. 2010. Regionalización de los días secos en Argentina: Un enfoque metodológico. *Meteorologica*, 35, 67-80.
- CASTRO DÍEZ, A. Y. 2007. Cambios climáticos observados en la temperatura y la precipitación en Andalucía en el contexto de la Península Ibérica y hemisférico En: SOUSA, A., GARCÍA-BARRÓN, L. Y JURADO, V. (ed.) *El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medio ambientales*. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía.
- CATTELL, R. B. 1966. The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245-276.
- COMRIE, A. C. & GLENN, E. C. 1998. Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability. *Climate Research*, 10, 201-215.
- DE MORSIER, F., TUIA, D., BORGEAUD, M., GASS, V. & THIRAN, J.-P. 2015. Cluster validity measure and merging system for hierarchical clustering considering outliers. *Pattern Recognition*, 48, 1478-1489.
- DEGAETANO, A. T. 1996. Delineation of mesoscale climate zones in the Northeastern United States using a novel approach to cluster analysis. *Journal of Climate*, 9, 1765-1782.
- DEGAETANO, A. T. 2001. Spatial grouping of United States climate stations using a hybrid clustering approach. *International Journal of Climatology*, 21, 791-807.

- EASTERLING, D. R. 1989. Regionalization of thunderstorm rainfall in the contiguous United States. *International Journal of Climatology*, 9, 567-579.
- ERTÖZ, L., STEINBACH, M. & KUMAR, V. Finding clusters of different sizes, shapes, and densities in noisy, high dimensional data. *En*: SIAM, ed. Proceedings of the 2003 SIAM International Conference on Data Mining, 2003. Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- EVERITT, B. S., LANDAU, S., LEESE, M. & STAHL, D. 2011a. *Cluster analysis*, John Wiley & Sons, Ltd.
- EVERITT, B. S., LANDAU, S., LEESE, M. & STAHL, D. 2011b. Hierarchical clustering. *Cluster Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, 71-110.
- FARSADNIA, F., ROSTAMI KAMROOD, M., MOGHADDAM NIA, A., MODARRES, R., BRAY, M. T., HAN, D. & SADATINEJAD, J. 2014. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. *Journal of Hydrology*, 509, 387-397.
- FERNÁNDEZ-MONTES, S. & RODRIGO, F. 2015. Trends in surface air temperatures, precipitation and combined indices in the southeastern Iberian Peninsula (1970-2007). *Climate Research*, 63, 43-60.
- FOVELL, R. G. 1997. Consensus clustering of U.S. temperature and precipitation data. *Journal of Climate*, 10, 1405-1427.
- FOVELL, R. G. & FOVELL, M.-Y. C. 1993. Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis. *Journal of Climate*, 6, 2103-2135.
- GALLARDO, C. 2014. *Ampliación de análisis de datos multivariantes. Capítulo 2* [Online]. Granada: Universidad de Granada. Disponible: <http://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-2.pdf> [Acceso 2 de septiembre 2015].
- GARCÍA, D. 2008. El concepto de escala y su importancia en el análisis espacial. *En*: MAESTRE, F., ESCUDERO, A. Y BONET, A. (ed.) *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales*. Madrid, Universidad Rey Juan Carlos Servicio de Publicaciones, 35-73.
- GONG, X. & RICHMAN, M. B. 1995. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. *Journal of Climate*, 8, 897-931.
- GONZALEZ-HIDALGO, J. C., LOPEZ-BUSTINS, J.-A., ŠTEPÁNEK, P., MARTIN-VIDE, J. & DE LUIS, M. 2009. Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000). *International Journal of Climatology*, 29, 1415-1429.
- GÜNNEMANN, S., KREMER, H., LAUFKÖTTER, C. & SEIDL, T. 2012. Tracing evolving subspace clusters in temporal climate data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 24, 387-410.
- GUO, D. 2008. Regionalization with dynamically constrained agglomerative clustering and partitioning (REDCAP). *International Journal of Geographical Information Science*, 22, 801-823.
- HADDAD, K., JOHNSON, F., RAHMAN, A., GREEN, J. & KUCZERA, G. 2015. Comparing three methods to form regions for design rainfall statistics: two case studies in Australia. *Journal of Hydrology*.
- HALKIDI, M., BATISTAKIS, Y. & VAZIRGIANNIS, M. 2002. Cluster validity methods: part I. *SIGMOD Rec.*, 31, 40-45.

- HALKIDI, M., BATISTAKIS, Y. & VAZIRGIANNIS, M. 2001. On clustering validation techniques. *Journal of Intelligent Information Systems*, 17, 107-145.
- HÄRDLE, W. & SIMAR, L. 2004. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Berlin, Springer. Disponible: [http://sfb649.wiwi.hu-berlin.de/fedc\\_homepage/xplore/ebooks/html/](http://sfb649.wiwi.hu-berlin.de/fedc_homepage/xplore/ebooks/html/).
- HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2004. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management*, 34, S39-S60.
- HARGROVE, W. W. & HOFFMAN, F. M. 1999. Using multivariate clustering to characterize ecoregion borders. *Computing in Science & Engineering*, 1, 18-25.
- HAYLOCK, M. R., HOFSTRA, N., KLEIN TANK, A. M. G., KLOK, E. J., JONES, P. D. & NEW, M. 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, n/a-n/a.
- HENNIG, C. 2007. Cluster-wise assessment of cluster stability. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52, 258-271.
- IRIONDO, J. M., TORRES, E. & ESCUDERO, A. 2008. Modelos para analizar variables continuas y categóricas: correlogramas y estadísticos "join count". En: MAESTRE, F., ESCUDERO, A. Y BONET, A. (ed.) *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales*. Madrid, Universidad Rey Juan Carlos Servicio de Publicaciones, 183-213.
- IRWIN, S. E. 2015. *Assessment of the regionalization of precipitation in two Canadian climate regions: A fuzzy clustering approach*. Master of Engineering Science Electronic Thesis and Dissertation Repository, The University of Western Ontario.
- JACCARD, P. 1901. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura. *Bull Soc Vandoise Sci Nat*, 37, 547-579.
- JAIN, A. K. & MOREAU, J. V. 1987. Bootstrap technique in cluster analysis. *Pattern Recognition*, 20, 547-568.
- JAIN, A. K., MURTY, M. N. & FLYNN, P. J. 1999. Data clustering: a review. *ACM Comput. Surv.*, 31, 264-323.
- JAYAWARDENE, H. K. W. I. & JAYEWARDENE, D. U. J. S. D. R. 2005. Spatial interpolation of weekly rainfall depth in the dry zone of Sri Lanka. *Climate Research*, 29, 223-231.
- JUSTEL, A. 2010. *Técnicas de análisis multivariante para agrupación* [Online]. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/ajustel/docencia/ad/AD10\\_11\\_Cluster.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/ajustel/docencia/ad/AD10_11_Cluster.pdf) [Acceso 31 de agosto 2015].
- KALKSTEIN, L. S., TAN, G. & SKINDLOV, J. A. 1987. An Evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 717-730.
- LANA, X. & BURGUEÑO, A. 2000. Some statistical characteristics of monthly and annual pluviometric irregularity for the Spanish Mediterranean Coast. *Theoretical and Applied Climatology*, 65, 79-97.
- LANZANTE, J. 1996. Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. *International Journal of Climatology*, 16, 1197-1226.

- LEGENDRE, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, 74, 1659-1673.
- LEGENDRE, P. & FORTIN, M. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80, 107-138.
- LÓPEZ, A. M. *Análisis de Conglomerados* [Online]. Universidad de Sevilla. Disponible: <http://personal.us.es/analopez/ac.pdf> [Acceso 2 de septiembre 2015].
- LUND, R. & LI, B. 2009. Revisiting climate region definitions via clustering. *Journal of Climate*, 22, 1787-1800.
- MAESTRE, F. T. & ESCUDERO, A. 2008. Introducción. En: MAESTRE, F. T., ESCUDERO, A. Y BONET, A. (ed.) *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales*. Madrid, Universidad Rey Juan Carlos Servicio de Publicaciones, 1-33.
- MAHÍA, R. *Informática aplicada al análisis económico* [Online]. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible: [https://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/rmc/documentos/cluster.PDF](https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/rmc/documentos/cluster.PDF) [Acceso 31 de agosto 2015].
- MAMOON, A. A., JOERGENSEN, N. E., RAHMAN, A. & QASEM, H. 2014. Derivation of new design rainfall in Qatar using L-moment based index frequency approach. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3, 111-118.
- MARTÍNEZ ARIAS, R. 1999. *El análisis multivariante en la investigación científica* Arco Libros.
- MILLIGAN, G. 1996. Clustering validation: results and implications for applied analyses. En: ARABLE, P., HUBERT, L. J. Y DE SOETE, G. (ed.) *Clustering and Classification*. River Edge, N.J, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 341-376.
- MILLIGAN, G. & COOPER, M. 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*, 50, 159-179.
- MIMMACK, G. M., MASON, S. J. & GALPIN, J. S. 2001. Choice of distance matrices in cluster analysis: defining regions. *Journal of Climate*, 14, 2790-2797.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- PARDO, M. 2010. *Clustering* [Online]. Disponible: <http://lectures.molgen.mpg.de/algsysbio10/clustering.pdf>.
- PEÑA, D. 2002. *Análisis de datos multivariantes*, McGraw-Hill Madrid.
- PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.
- PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR ALBA, M., MEGIAS CASAS, M., CAMARILLO NARANJO, J. M., CORZO TOSCANO, M. & RODRIGUEZ DÍAZ, V. 1999. Diseño de una metodología de espacialización de variables climáticas. Estructuración de bases de datos de clima y obtención de indicadores ambientales. En: SEVILLA, U. D. (ed.) *Investigación y desarrollo medioambiental en Andalucía (1995-1998)*. Sevilla, Universidad de Sevilla, 87-94.
- RAMACHANDRA RAO, A. & SRINIVAS, V. V. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, 318, 37-56.

- RASILLA ÁLVAREZ, D. 2000. Fuentes y métodos para la caracterización de ambientes meteorológicos. En: MARTÍ EZPELETA, A. (ed.) *Clima y calidad ambiental*. Santiago de Compostela, Asociación de Geógrafos Españoles, 174-191.
- RHEE, J., IM, J., CARBONE, G. J. & JENSEN, J. R. 2008. Delineation of climate regions using in-situ and remotely-sensed data for the Carolinas. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3099-3111.
- ROMERO, R., RAMIS, C. & GUIJARRO, J. A. 1999a. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification. *International Journal of Climatology*, 19, 95-112.
- ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999b. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.
- RUIZ SINOGA, J. D., GARCIA MARIN, R., MARTINEZ MURILLO, J. F. & GABARRON GALEOTE, M. A. 2011. Precipitation dynamics in southern Spain: trends and cycles. *International Journal of Climatology*, 31, 2281-2289.
- SATYANARAYANA, P. & SRINIVAS, V. V. 2008. Regional frequency analysis of precipitation using large-scale atmospheric variables. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, D24110.
- SATYANARAYANA, P. & SRINIVAS, V. V. 2011. Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables – A fuzzy clustering approach. *Journal of Hydrology*, 405, 462-473.
- SAXON, E., BAKER, B., HARGROVE, W., HOFFMAN, F. & ZGANJAR, C. 2005. Mapping environments at risk under different global climate change scenarios. *Ecology Letters*, 8, 53-60.
- SERRA, C., FERNÁNDEZ MILLS, G., PERIAGO, M. C. & LANA, X. 1996. Winter and autumn daily precipitation patterns in Catalonia, Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 54, 175-186.
- UNAL, Y., KINDAP, T. & KARACA, M. 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International Journal of Climatology*, 23, 1045-1055.
- VARELA MALLOU, J., RIAL BOUBETA, A. & PICÓN PRADO, E. 2015. *Análisis Multivariante* [Online]. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela. Disponible: [http://www.usc.es/export/sites/default/gl/investigacion/grupos/psicom/docencia/grado/analisis/Teoria/Tema\\_7.pdf](http://www.usc.es/export/sites/default/gl/investigacion/grupos/psicom/docencia/grado/analisis/Teoria/Tema_7.pdf) [Acceso 19 de septiembre 2015].
- VILLARÍN CLAVERÍA, M. C. 2015. *Factores explicativos del consumo doméstico de agua. Estudio de microescala en el municipio de Sevilla*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- WANG, X., SMITH, K. & HYNDMAN, R. 2006. Characteristic-based clustering for time series data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 13, 335-364.
- WARREN LIAO, T. 2005. Clustering of time series data—a survey. *Pattern Recognition*, 38, 1857-1874.
- YEH, H. Y., WENSEL, L. C. & TURNBLOM, E. C. 2000. An objective approach for classifying precipitation patterns to study climatic effects on tree growth. *Forest Ecology and Management*, 139, 41-50.



# **CUARTA PARTE**

## **RESULTADOS**

*Capítulo 7. Las redes de observación pluviométricas*

*Capítulo 8. Regionalización pluviométrica*

*Capítulo 9. Representatividad de la red de medición actual según  
la regionalización pluviométrica establecida*





# CAPÍTULO 7

## LAS REDES DE OBSERVACIÓN PLUVIOMÉTRICA EN ANDALUCÍA

### 7.1. Introducción

### 7.2. Estudio histórico de la red estatal y su configuración

7.2.1. El marco histórico general y las primeras mediciones climáticas

7.2.2. Evolución de la red de observación en Andalucía

7.2.2.1. Primera etapa. Los primeros observatorios (1800-1910)

7.2.2.2. Segunda etapa. La creación de la red de observación (1911-1950)

7.2.2.3. Tercera etapa. La expansión y consolidación (1951-1960)

7.2.2.4. Cuarta etapa. El *esplendor* (1961-1985)

7.2.2.5. Quinta etapa. Crisis y aparición de nuevas redes (1985-2012)

### 7.3. Las redes actuales de observación pluviométrica en Andalucía.

7.3.1. Introducción: el subsistema CLIMA

7.3.2. Las redes de la Agencia Estatal de Meteorología

7.3.2.1. Red de estaciones meteorológicas automáticas

7.3.2.2. Red de estaciones principales

7.3.2.3. Red de estaciones secundarias

7.3.3. Administración Autonómica. Redes de la Junta de Andalucía.

7.3.3.1. Consejería de Medio Ambiente

7.3.3.2. Consejería de Agricultura y Pesca.

7.3.4. Las Confederaciones Hidrográficas: el Sistema Automático de Información Hidrológica

7.3.5. Universidades y Centros de Investigación

7.3.6. Otros observatorios. Redes privadas

### 7.4. Conclusiones

### 7.1. Introducción

La información climática en España es rica y abundante gracias a diferentes organismos que se han ocupado de recoger datos desde hace más de un siglo. Su labor nos ha proporcionado, en sintonía con la desarrollada en la mayoría de los países europeos, un importante patrimonio de registros climatológicos que ha posibilitado el conocimiento del territorio, así como un buen nivel en campos de investigación relacionados o basados en esta información.

Las redes de observación climáticas han ido desarrollándose en el tiempo impulsadas por diferentes acontecimientos, y han estado sometidas a cambios históricos que han condicionado su configuración y la calidad de los registros. Para sistematizar la información hemos creído conveniente hacer una descripción de las fuentes y bancos de datos disponibles dirigidas a:

- Hacer un análisis crítico de la información disponible.
- Describir de forma sucinta el desarrollo histórico de la red de medición pluviométrica.
- Realizar una evaluación y proponer alternativas para el futuro.

Como comentan Auer y otros, este tipo de estudios sobre las redes de observación tienen un gran interés y han sido acometidos en diversos países, ya que los registros climáticos “han sido el resultado del intenso desarrollo histórico durante los últimos dos siglos. Los datos regionales sobre el clima siempre han sido producidos y gestionados por diversas autoridades regionales o locales, por determinados institutos científicos y más tarde por los Servicios Meteorológicos Nacionales. Por lo tanto, una revisión histórica de los dos siglos del *periodo instrumental* para la precipitación puede ayudar a comprender mejor las dificultades que deben resolverse para obtener un conjunto de datos coherente”(Auer *et al.*, 2005).

A nivel nacional, y en la evolución temporal de la red de información pluviométrica desde una perspectiva diacrónica se distinguen etapas que es preciso enmarcar en su contexto histórico y en relación a la institucionalización de la Meteorología y Climatología en nuestro país. La descripción que vamos a realizar irá acompañada de una evaluación de la densidad y de la representatividad espacial de esta red de observación en cada una de las etapas establecidas hasta llegar a la actualidad.

El volumen de información sobre las variaciones del estado de la atmósfera se ha multiplicado extraordinariamente debido a factores de aparición reciente como:

- Las necesidades de la navegación aérea
- La seguridad ambiental.
- La previsión de catástrofes naturales.

- La creciente conciencia del calentamiento global.
- El desarrollo de las telecomunicaciones y la exploración espacial.

En nuestro estudio no pretendemos realizar un análisis histórico en profundidad sino acercarnos, a través de algunos hitos, a las motivaciones que han configurado la red de observación pluviométrica a fin de evaluar su capacidad de sustentar estas nuevas demandas de información.

En nuestra Comunidad Autónoma, gracias al Subsistema de Información Climática de Andalucía (CLIMA) se han superado muchos de los obstáculos y carencias históricas para el acceso a esta información, como comentaremos posteriormente. No obstante, en el contexto actual de cambio global, las variaciones futuras del clima plantean nuevos retos y exigencias que requieren iniciativas innovadoras en la gestión, para dar respuesta a las necesidades y demandas futuras de información climática.

Como expone el informe CLIVAR España “El cambio climático es hoy una realidad y uno de los retos más importantes a los que ha de enfrentarse la humanidad en este siglo, por la amenaza que supone, entre otros, para la economía, la salud, los alimentos y la seguridad. (...) Uno de los elementos esenciales requeridos para hacer frente a este desafío es disponer de un conocimiento, lo más detallado posible, sobre cómo está cambiando el clima, cómo será en los próximos cien años y cómo nos van a afectar estos cambios. Es aquí donde la comunidad científica juega un papel fundamental ya que cualquier formulación de políticas de lucha contra el cambio climático pasa por el conocimiento previo de esas cuestión” (Pérez *et al.*, 2010). La base de este conocimiento se encuentra en las redes de medición, de ahí la relevancia de su estudio.

Se plantean, pues, importantes retos para el futuro no exentos de dificultad y que están relacionados con la coordinación de las instituciones responsables de las redes de mediciones, y con la gestión, acceso y uso de esta información.

## 7.2. Estudio histórico de la red estatal y su configuración

Conocer la evolución histórica de cualquier disciplina resulta imprescindible para comprender su desarrollo científico y técnico. En nuestra investigación analizamos la evolución histórica de la meteorología y de la climatología, centrándonos en la configuración de su red de observación a fin de obtener una mejor comprensión de la información disponible.

Estudiar las características del banco de datos de precipitación de Andalucía requiere, al menos, un breve repaso de las motivaciones históricas e institucionales que han determinado las diferentes etapas en la formación de la red oficial de estaciones

meteorológicas. Coincidimos con Palomares en su conferencia *AEMET a lo largo de su historia*, cuando cita las palabras de Arcimís, primer director de la Agencia de Meteorología, años antes de que se fundara: “Los hombres de ciencia descuidan bastante, no ya la Historia política universal, sino también aquella parte que refiriéndose con especialidad al objeto de sus estudios, debía más poderosamente interesarles” (Arcimís, primer director de AEMET, en *Apuntes para la historia de la brújula*, Cádiz, 1876) (Palomares, 2012).

### 7.2.1. El marco histórico general y las primeras mediciones climáticas

Al comenzar el siglo XVIII, los gobiernos ilustrados sentaron las bases de una nueva política científica, promotora del saber y de las técnicas, en sintonía con los descubrimientos y avances del momento. La puesta a punto de los instrumentos de medición de los diferentes elementos atmosféricos supone el inicio del interés por la meteorología y la climatología desde diferentes campos. Comentan García de Pedraza y Giménez de la Cuadra (1985) que: “En España, a lo largo del siglo XVIII, se advierten los varios intentos de organizar la obtención de datos científicos sobre el clima y los meteoros, utilizando el barómetro y los demás instrumentos que ya hacían posible la medida objetiva de los parámetros básicos de la atmósfera. Fueron la medicina, la agricultura y la navegación marítima las actividades que llegaron primero en auxilio de la Meteorología”. A partir de 1784, y a lo largo de unos quince años, el esfuerzo de las autoridades, bajo la coordinación de Campomanes, se centró en recabar información y datos sobre las condiciones climáticas anuales y su incidencia en la producción agraria, impulsando las observaciones y descripciones relacionadas con la atmósfera.

Las necesidades fiscales derivadas de la implantación del absolutismo en España llevaron al Estado, a lo largo del siglo XVIII, a realizar un ambicioso plan para disponer de una estadística de la riqueza territorial; con este fin se emprenden diversos proyectos, como el Catastro de Ensenada aunque será a partir del último cuarto de siglo cuando los esfuerzos de los gobernantes ilustrados por dotar a la Administración de una estadística territorial actualizada tomarán cada vez más impulso (Nadal y Urteaga, 1990). La siguiente cita muestra este celo por la obtención de datos: “En 1784, Rodríguez Campomanes dispuso que los corregidores y alcaldes mayores de las ciudades del reino remitiesen a la Secretaría de la Presidencia de Castilla noticias quincenales con referencia al “temple del aire, las lluvias, las nieblas, vientos, nubes, rocíos, tempestades y demás meteoros que se observaren, señalando su influencia en la vida vegetal y sobre las cosechas” (García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, 1985).

En España el proyecto estadístico-meteorológico estuvo vigente y se cumplió, con más o menos precisión, en todo el país hasta principios del siglo XIX. “Estas iniciativas, interrumpidas o no ejecutadas, dieron, sin embargo, sus frutos en las primeras series

de observaciones meteorológicas y, más tarde, daban origen a la creación de los primeros organismos que habrían de coordinar las observaciones meteorológicas por largo tiempo”(Op. Cit).

Poco a poco, a la necesidad inicial de conocer el territorio por parte del Estado se van añadiendo, a lo largo del siglo XIX, otros proyectos impulsados desde el pensamiento regeneracionista y desarrollista español, en el convencimiento de que *el problema nacional* es un *problema geográfico*. Muchos de los obstáculos y limitaciones que el medio físico y la geografía de la península ibérica imponían a nivel individual, social y económico se achacan a “el mal régimen de las aguas, la causa única y suprema” de los numerosos “males, fealdades y daños” que aquejan a la nación (Matías Picavea citado por Ortega Cantero, 1984, p. 112). Una muestra de ello es la advertencia de Jovellanos en su *Informe en el Expediente de Ley Agraria*, publicado por la Sociedad Económica de Madrid en 1875, indicando que la ampliación del regadío en el campo español es necesaria y difícil. “Su necesidad proviene de que el clima de España en general es ardiente y seco, y es grande por consiguiente el número de tierras que, por falta de riego, o no producen cosa alguna, o sólo algún escaso pasto”. Y su dificultad reside en que, salvo en algunos “felices territorios” donde la implantación del regadío resulta bastante accesible, “el riego no se podrá lograr sino al favor de grandes y muy costosas obras” ya que, como el propio autor expone, “la situación de España es naturalmente desigual y muy desnivelada”(Ortega Cantero, 1984).

Como constata este autor “el diagnóstico de Jovellanos acierta al anunciar alguna de las constantes que aparecerán posteriormente inscritas en el dificultoso desarrollo de la política hidráulica y del fomento del regadío. Las dos características advertidas por el ilustrado, la necesidad y la dificultad, resumen con bastante precisión las claves que permiten entender el sucesivo desenvolvimiento teórico y práctico de las acciones encaminadas a mejorar la distribución y el aprovechamiento de los recursos hídricos”. En estos momentos se acometen ambiciosos proyectos políticos de renovación agraria e hidráulica con la ampliación de zonas de regadío. En todas estas políticas encontramos el germen que iniciará, la progresiva implantación de la red de observación meteorológica de España.

Otra característica del siglo, común a toda Europa y también a España, es la inquietud científica y técnica que impulsa la creación de observatorios e institutos físicos como los de Turín, Bolonia, Milán-Brera, Padua, Marsella, Estrasburgo, Hohenpeissenberg, Regensburg, Karlsruhe (Auer *et al.*, 2005), o el del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, en Cádiz. Se comienzan a tomar, de forma sistemática, medidas de variables climáticas que constituirán en algunos países las series históricas más largas.

El interés por promover el desarrollo científico y técnico del insigne marino Jorge Juan hizo que propusiera al Marqués de la Ensenada la idea de instalar un observatorio en

Cádiz, en la Academia de Guardias Marinas (Figura 1.7). Con ello se pretendía que los futuros oficiales de la Marina aprendiesen y dominasen una ciencia tan necesaria para la navegación como era entonces la astronomía. Nace así en 1753 el observatorio más antiguo de España y más meridional de Europa, que a sus tareas astronómicas fue añadiendo, entre otras, el cálculo de efemérides y las observaciones meteorológicas, sísmicas y magnéticas

**Figura 1.7. Real Observatorio de la Isla de León (Principios del s.XIX).**



Fuente: Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (<http://www.roa.es>)

A comienzos del siglo XX el sector primario continuaba ocupando el lugar central de la economía española con aproximadamente cuatro quintas partes de la tierra dedicadas a uso agrario aunque con muy escaso rendimiento. No es extraño que el fomento del regadío se viese como la principal vía para incrementar la reducida productividad agrícola, y por tanto, como requisito indispensable para la modernización general (Ramos Gorostiza, 2001). Se produce una creciente presión sobre el recurso del agua que hasta el momento se venía utilizando con arreglo a modelos tradicionales (Del Moral Ituarte, 1991, p.333).

“Las colonizaciones agrarias de las zonas regables llevadas a cabo en la primera mitad del siglo XX, deben ser enmarcadas en unas políticas generales de colonización en las que convergen criterios e intervenciones técnicas vinculadas a la hidráulica con planteamientos y actuaciones socio-económicas encaminadas, teóricamente, a la consecución de unas estructuras de propiedad agraria más igualitarias y, a la vez, más propicias al aumento de la productividad y la competencia” (Díaz y Rivera, 2005).

El Instituto Nacional de Colonización, fue un organismo creado en España en octubre de 1939, dependiente del Ministerio de Agricultura. Su creación estuvo motivada por la necesidad de efectuar una reforma tanto social como económica de la tierra,

después de la devastación de la guerra civil. El objetivo principal del mismo era efectuar la necesaria transformación del espacio productivo mediante la reorganización y reactivación del sector agrícola y el incremento de la producción agrícola con vistas a los planes autárquicos de la época mediante el aumento de tierras de labor y la superficie de riego. Posteriormente cambió su nombre por el de Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA).

Para la conversión de esas amplias tierras de secano en zonas de regadío, se emprendió la construcción de acequias, pantanos e importantes canales que cambiaron y configuraron en gran medida el paisaje rural, principalmente de Andalucía y Extremadura.

El objetivo del Instituto Nacional de Colonización (INC) era la transformación productiva a través de la puesta en riego y el asentamiento de colonos que, en el futuro, se convertirían en propietarios de sus fincas. Este objetivo se reguló mediante la Ley de Bases para la Colonización de Grandes Zonas Regables, de 1939, que estuvo vigente hasta 1949, fecha en que fue sustituida por la Ley de Colonización.

El Estado considera el agua bien público e inicia una serie de proyectos considerados de *interés general de la Nación* entre los que se encuentra la expansión del regadío y la construcción de infraestructuras hidráulicas. A lo largo del siglo XX la política hidrológica española respondió a un planteamiento homogéneo: la constante generación de nuevas disponibilidades “a golpe de infraestructura” con objeto de satisfacer unas demandas crecientes en el proceso de desarrollo (Ramos Gorostiza, 2001). El Plan nacional de Aprovechamientos Hidráulicos de 1902 (Plan Gasset), y sus posteriores correcciones (1909, 1916 y 1919), el Plan general de Obras Hidráulicas de 1940, y los Planes de desarrollo de los años sesenta son buena prueba de ello. Estas obras van de la mano de los grandes proyectos de desarrollo agrícola que se ponen marcha a partir de 1940 produciendo una rápida expansión de la agricultura durante el franquismo.

En el caso de Andalucía, los grandes proyectos hidrológicos y de regadío adquieren una relevancia especial, como expone Del Moral Ituarte en su tesis *La obra hidráulica en la Cuenca Baja del Guadalquivir, siglos XVIII-XX: gestión del agua y organización del territorio*: “desde el momento en el que se constituyen los primeros organismos de estudios hidrológicos, en torno a 1860, el Ebro y el Guadalquivir son los dos ríos que más interés despiertan en los medios especializados en la materia. Esta característica la conservaron ininterrumpidamente durante las décadas siguientes, hasta el significativo momento de la fundación de las Confederaciones Hidrográficas” (Del Moral Ituarte, 1991, p. 295-295). La demanda de información climática incentiva la recopilación de información de carácter meteorológico y motiva el desarrollo de una densa red de estaciones de medición.

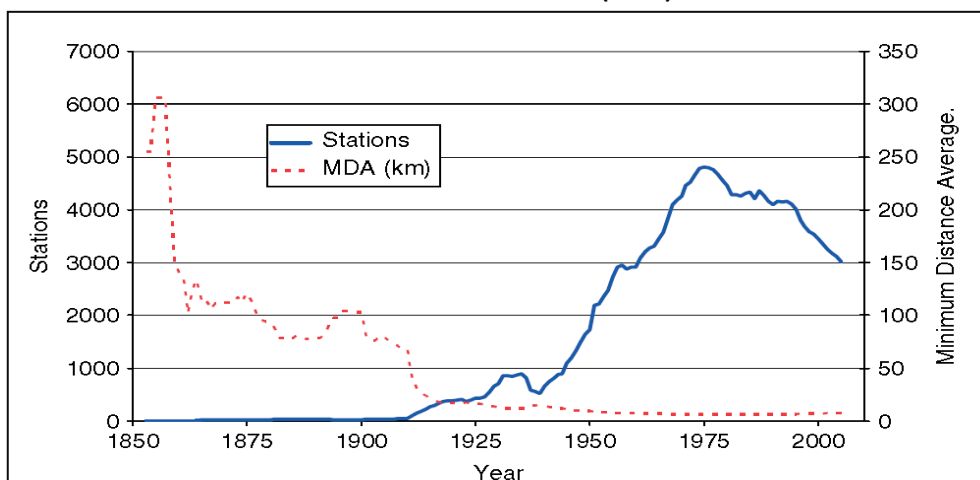
Los proyectos iniciados en el siglo XIX derivados del ideal ilustrado y el impulso, a principios del siglo XX, del pensamiento regeneracionista con la consiguiente transformación hidrológica y agrícola, a partir de la idea de que la riqueza de España debía basarse en la regulación, control y buen uso de sus aguas como mecanismo primordial de multiplicación de sus producciones agrícolas y su mejor aprovechamiento energético, unidos al desarrollo aeronáutico y al de las ciencias de la atmósfera más avanzado el siglo XX, constituyen los principales acontecimientos históricos que conducirán a la consolidación de la meteorología, de sus instituciones y de las redes de medición.

### 7.2.2. Evolución de la red de observación en Andalucía

Para situar la red de observación de Andalucía nos referiremos, en primer lugar, a la evolución de la red de observación de la precipitación española a lo largo del siglo XX, que es similar a las descritas en otros ámbitos tales como la evolución descrita por New y otros (2001) a escala global, Auer y otros (2005) para la región de los Alpes, o en otras regiones como Cataluña (Saladié *et al.*, 2007) o Murcia (Álvarez *et al.*, 2014).

Como podemos apreciar en la figura siguiente (Figura 2.7) tomada de González-Hidalgo y otros (2011), durante el siglo XIX existía todavía poca información climática. En el siglo XX se aprecia un crecimiento continuo del número de observatorios meteorológicos, con algunos descensos debidos a la inestabilidad social o a conflictos como la Guerra Civil española que provoca un colapso de la red de estaciones. Finalizada la contienda, se inicia un paulatino proceso de crecimiento que alcanza su cúspide a principios de los años 70. En las últimas décadas del siglo XX se produce una disminución progresiva del número de observatorios que continúa en la actualidad.

**Figura 2.7. Evolución de pluviómetros españoles (1850-2005). Número de estaciones y Distancia mínima media entre estaciones (MDA) en km.**

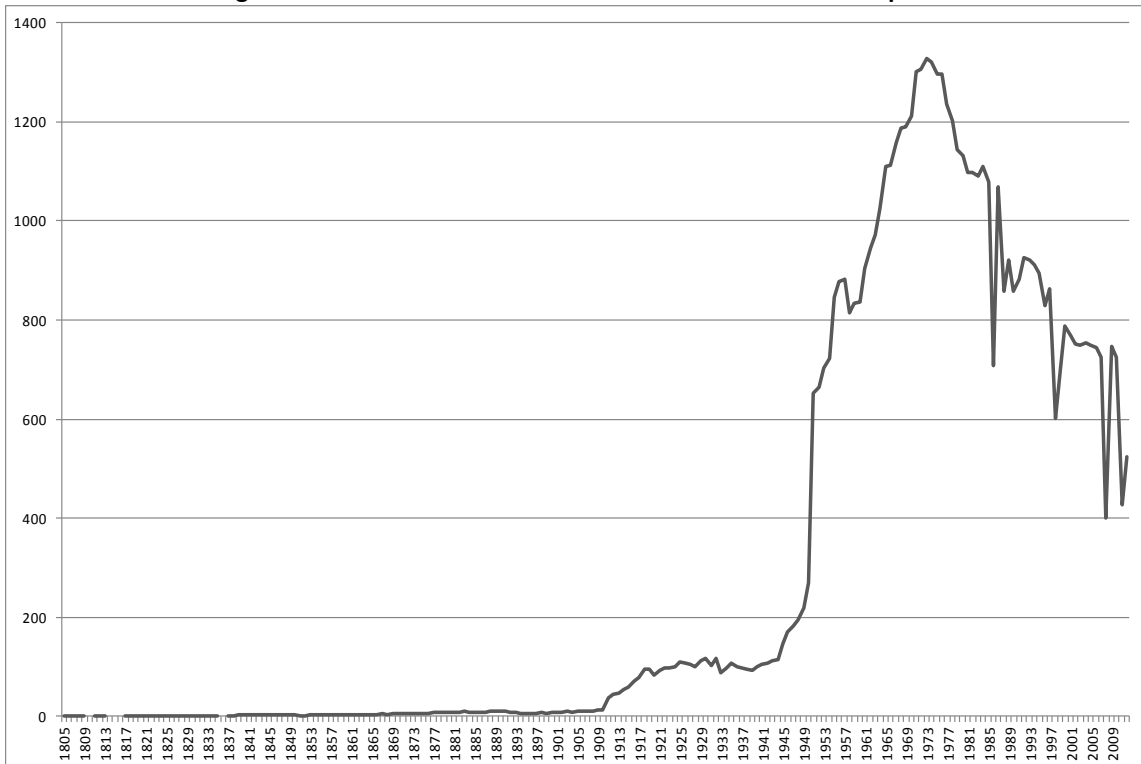


Fuente: González-Hidalgo y otros (2005).



Los datos de que disponemos para la realización del presente trabajo y que usaremos para describir la red de observación en Andalucía abarcan desde 1805 hasta el año 2012 incluido, año hasta el que disponemos de datos actualizados, lo que supone más de dos siglos de observaciones pluviométricas. Conocer el desarrollo de la red de observación pluviométrica y el volumen de información existente con mayor precisión implica analizar su distribución en el tiempo y por esta razón hemos calculado para cada año el número de estaciones con registros y hemos representado la serie temporal en un gráfico (Figura 3.7), a fin de apreciar la evolución de la red de observatorios pluviométricos de Andalucía.

Figura 3.7. Número de observatorios en Andalucía en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET.

Como hemos señalado anteriormente, la red meteorológica nacional experimenta una recuperación inmediata después de la Guerra Civil que se aprecia igualmente en Andalucía pero, mientras este aumento es progresivo en la década de los cuarenta para España, en nuestra región, desde 1925 hasta finales de la década de los 40, el número de observatorios se mantiene en torno a los 100, llegando en 1950 a los 269; en 1951 se incrementa hasta llegar a los 653, lo que supone en términos relativos un aumento superior al 20 % respecto al periodo anterior. El máximo número se alcanza en 1973 con 1.329, y el mínimo en 2008 con 400. En los últimos años la reducción de estaciones ha supuesto una pérdida de un 30 % desde este máximo hasta la actualidad.

Hemos señalado los cambios más significativos en el número de observatorios para diferenciar una serie de etapas e intentar explicar históricamente las razones de esta evolución. La distinción está basada, exclusivamente, en el número de observatorios activos en cada momento, considerando como tales aquellos que registran información de forma continua, o casi continua, en cada uno de los periodos establecidos, y que únicamente presentan un número *razonable* de lagunas. Hemos tratado de conocer en cada momento las estaciones que suministran una información *útil* por su calidad y continuidad, así como la densidad y distribución espacial de los observatorios. A partir de toda esa información, distinguiremos a lo largo de los dos siglos de observaciones pluviométricas, las siguientes etapas en la evolución temporal de la red pluviométrica de Andalucía (Figura 4.7):

- **Primera etapa. Primeros observatorios (1800-1910).** Comprende el periodo en el que se instalan los primeros observatorios en la región y que abarca el siglo XIX hasta los inicios del XX, constituyendo el patrimonio de series pluviométricas históricas de la región. A partir de la creación del Servicio Meteorológico Nacional en 1887 se inicia una política de creación de observatorios con el fin de constituir una red nacional.
- **Segunda etapa. Creación de la red de observación (1911-1950).** La hemos denominado así ya que supone que en Andalucía, entre estas dos fechas pasamos de una media de 10 observatorios en el periodo anterior, a superar los 200 a finales de la década de los cuarenta.
- **Tercera etapa. Expansión y consolidación (1951-1960).** En 1951 el número de puntos de medición pluviométrica crece extraordinariamente, pasando en menos de diez años de unos 200 a casi 900, lo que supone un aumento de más de un 20% en términos relativos respecto al periodo anterior. Este incremento supone la expansión y consolidación de la red de observación pluviométrica, cubriendo la práctica totalidad del territorio andaluz.
- **Cuarta etapa. Esplendor (1960-1985).** Desde la década de los sesenta el número de observatorios no cesará de aumentar, superándose en 1964 los 1.000 observatorios y quedando cubierta la totalidad de la región. En esta etapa de *esplendor*, la red de observación alcanza el máximo en 1973 con 1.329 estaciones. A partir de entonces el número de puntos de medición comienza a disminuir progresivamente aunque en todo este periodo se mantiene por encima de las 1.000 estaciones.
- **Quinta etapa. Crisis de la red y aparición de nuevas redes (1985-2012).** A partir de 1985 se produce un brusco descenso que no cesa hasta el año 2012, situándose por debajo de los 800 los observatorios que componen la red. Por esta razón hemos denominado a este periodo, *crisis de la red de observación*. En

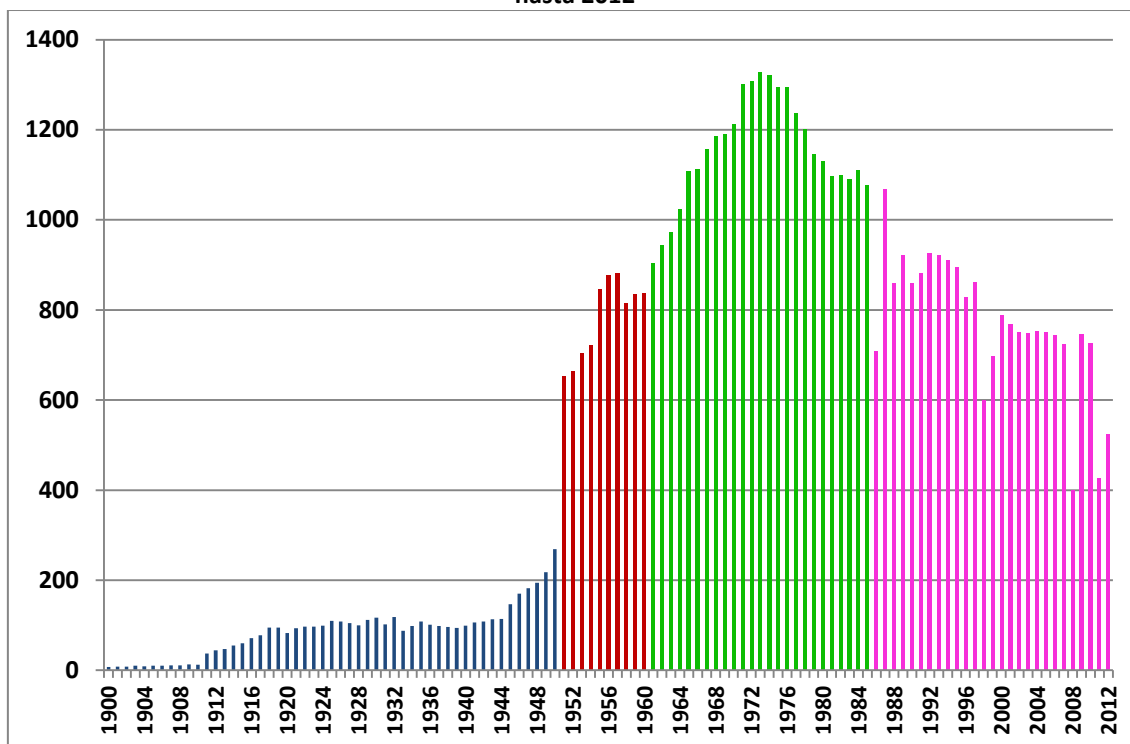
él se alcanza un mínimo histórico, en 2008, con sólo 400 estaciones con registros. Resulta preocupante que el número de estaciones no consiga estabilizarse en una cifra que garantice la cobertura pluviométrica espacial y temporal de Andalucía, algo que sería especialmente grave para las series históricas más largas de la región. El otro hito de este periodo es la aparición de nuevas redes gestionadas por diferentes administraciones autonómicas en respuesta a las crecientes y diferentes necesidades de información climática.

En la siguiente tabla (Tabla 1.7) aparece el número de observatorios existentes al final de cada etapa, en los periodos establecidos.

**Tabla 1.7. Número de observatorios medio y total al final de cada etapa**

ETAPA			NÚMERO DE OBSERVATORIOS	
Nº	Descripción	Período	Medio	Final Etapa
1	Primeros observatorios	1800 - 1910	4,3	12
2	Creación de la red	1911 - 1950	108,2	269
3	Expansión y consolidación	1951 - 1960	783,8	837
4	Esplendor	1961 - 1985	1169	1131
5	Crisis y aparición de nuevas redes	1986 - 2012	820,9	525

**Figura 4.7. Etapas establecidas en la evolución de la red según el número de estaciones desde 1900 hasta 2012**



Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

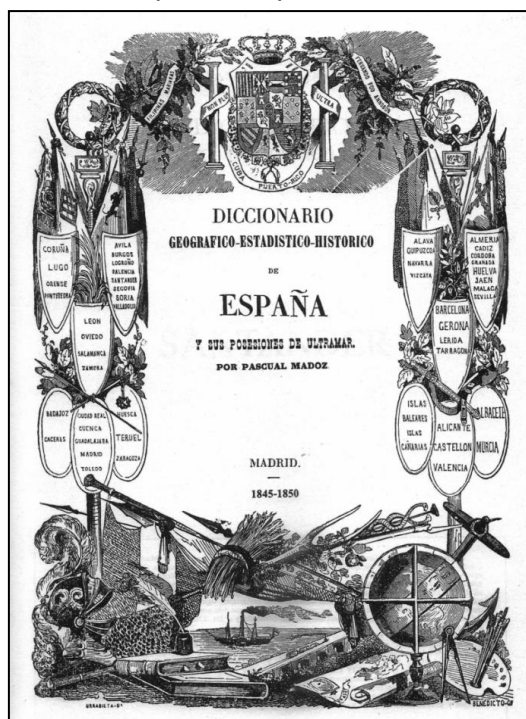
Existen dos obras de referencia para la descripción de los hechos que acontecen en cada uno estos periodos fundamentales y para conocer el proceso de creación y posterior desarrollo de la red de medición climática a través de las instituciones; nos referimos a la obra de Lorenzo García Pedraza y José Mario Jiménez de la Cuadra *Notas para la historia de la meteorología en España* (1985) y a *Meteorología, ideología y sociedad en la España contemporánea* (2012) de Aitor Anduaga Egaña. Lo cierto es que en la bibliografía meteorológica española se echan en falta más publicaciones que profundicen en esta temática y, sin duda, sería necesario continuar investigando, sobre todo a escala regional, con el fin de relacionar los acontecimientos políticos, sociales y económicos particulares de cada territorio con el devenir de la meteorología y la climatología.

Este capítulo tiene un enfoque diferente a las dos obras citadas, ya que no pretende recoger la historia de la meteorología en Andalucía. En nuestro trabajo no vamos a referirnos, de forma pormenorizada, a los hechos relativos a la evolución de la Meteorología en Andalucía en los 200 últimos años. Nuestro objetivo es examinar la evolución de la red de observación pluviométrica en Andalucía y solamente mencionaremos los hechos históricos más relevantes que puedan ayudar a explicarla, ofreciendo una visión global que nos permita comprender la situación actual.

#### **7.2.2.1. Primera etapa. Los inicios de la observación meteorológica (1800-1910)**

La preocupación de los ilustrados por conocer las características geográficas del país, fue retomada por los gobernantes liberales en el siglo XIX, que impulsaron proyectos de alcance nacional dirigidos a llevar a cabo la reforma de la división territorial. Personalidades de la talla de Madoz se involucran en esta labor participando en la Comisión de Estadística del Reino, encargada de organizar la recogida de datos por todo el país y publicarlos en los *Anuarios Estadísticos*. Así, los reformistas liberales “consideraron que el mapa topográfico, catastro y estadística debían formar parte de una única empresa de información territorial al servicio de la Administración pública” (Nadal y Urteaga, 1990).

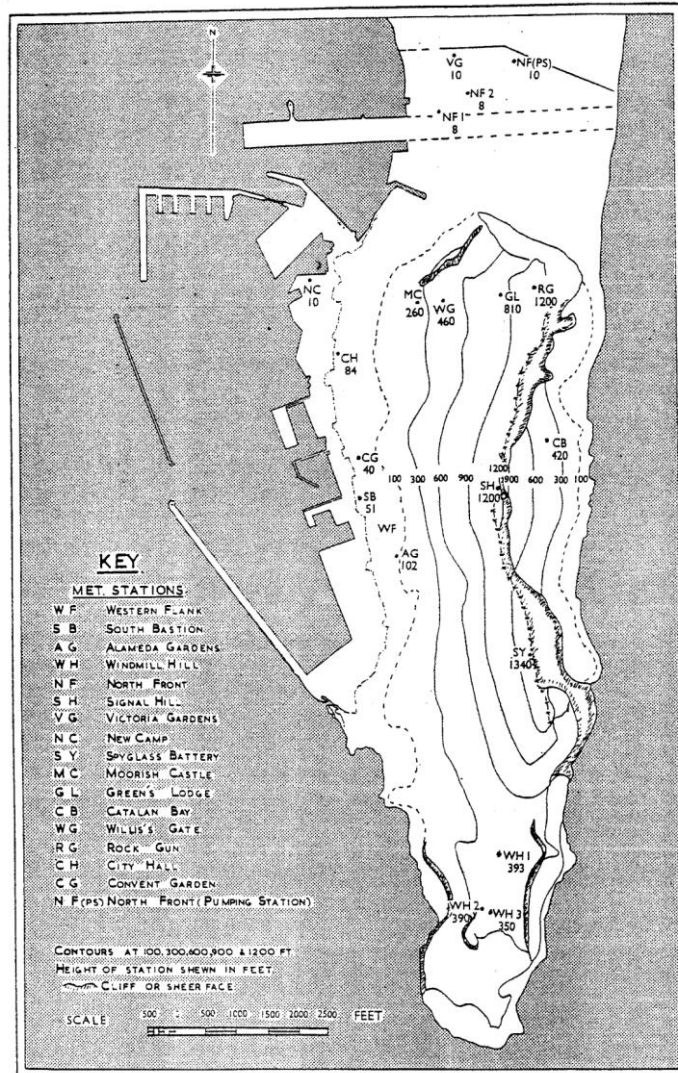
**Figura 5.7. Frontispicio del Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar (1846-1850) de Pascual Madoz.**



En la necesidad del Estado por disponer de una estadística fiable que permitiese conocer la variedad y riqueza territorial se impulsa, igualmente, la recopilación de información meteorológica y climática. Esta iniciativa comienza a dar sus frutos en el conocimiento del clima de España, como muestra el *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar* de Madoz (1845-1858) (Figura 5.7), que incluye un apartado sobre clima en las provincias y ciudades con datos de observaciones meteorológicas (López Gómez, 2001).

En Andalucía, las primeras observaciones pluviométricas sistemáticas y continuas, tomadas desde un organismo oficial, comienzan en 1805 en el Real Observatorio Astronómico de San Fernando. La segunda serie histórica más larga de precipitación corresponde al observatorio de Gibraltar que aunque comienza la toma sistemática de datos en 1791, por parte de los Ingenieros Reales, sus registros sólo se consideran fiables a partir de 1813 (Gil Olcina y Olcina Cantos, 1997, p. 60). Este observatorio en la guarnición inglesa de Gibraltar es el resultado de la política de creación de estaciones meteorológicas provinciales impulsada por Isabel II. Las mediciones pluviométricas tenían especial importancia ya que esta plaza militar se surtía exclusivamente del agua que recogía en sus aljibes, por lo que conocer el comportamiento de las precipitaciones permitía a las autoridades militares de la ciudad resolver el problema del suministro del agua a la ciudadanía (González Quijano, 1946; Iglesias Campos, 2003)(Figura 6.7).

Figura 6.7. Mapa de localización de las garitas meteorológicas y pluviométricas en Gibraltar.



Fuente: HURST (1959). Tomado de Iglesias (2003)

En un intento de organizar las observaciones meteorológicas, se acometen una serie de proyectos que irán consolidando la red de medición meteorológica en España. El Estado involucra en esta tarea a los sectores académicos y científicos, como muestra la Real Orden de 1846, en la que se recomienda a los rectores de universidades que estimulen a los profesores, academias y corporaciones científicas para que consignen el resultado de sus observaciones meteorológicas.

El año 1860 será clave para el establecimiento de una red nacional de observación meteorológica en nuestro país. Por Real Decreto de 5 de marzo de 1860, la reina Isabel II encarga a la Junta General de Estadística del Reino la creación y dotación de 22 estaciones meteorológicas en provincias, situadas en Universidades e Institutos” (Gil Olcina y Olcina Cantos, 1997, p. 61). Su misión consistiría en medir las temperaturas, presión atmosférica, estado higrométrico del aire, dirección y fuerza de los vientos, lluvia y “algunos otros meteoros de muy fácil anotación” (*Op. Cit.*). (Figura 7.7)

Figura 7.7. El mapa de los puntos donde se hacían observaciones meteorológicas regulares en España el año 1891. Se efectuaban por diversos organismos responsables, la mayoría Institutos de Enseñanza Media.



Fuente: M. Palomares 2012

Hay que recordar que durante el siglo XIX el ideario de desarrollo implicaba, como comenta Del Moral Ituarte “un proyecto de transformación geográfica del país: la regeneración de una naturaleza adversa, marcada por la torrencialidad, el violento desequilibrio de sus pulsiones, la aridez, la esterilidad y sus secuelas de atraso e incultura. Una naturaleza, sin embargo, capaz de responder generosamente a la intervención humana cuando ésta se apoya en el conocimiento geográfico, en la técnica y en la voluntad colectiva organizada por el poder político. (...) Las expresiones de Ramón Macías Picavea o Joaquín Costa que hablan del “mal régimen de las aguas” o de, “prioridad de una empresa verdaderamente nacional capaz de rehacer la geografía de la Patria”, son expresión de la conflictividad hombre /naturaleza y de la voluntad de transformación y dominio consustanciales a todo el ciclo histórico del paradigma hidráulico español”(Del Moral Ituarte, 2009).

A lo largo del siglo XIX se consolidan los proyectos de transformación del país, sobre la base de una intervención profunda en el ciclo hidrológico. El Estado toma las riendas en la recogida sistemática de información para organizar el territorio, creando el Ministerio de Obras Públicas en 1864, un Cuerpo de Ingenieros Civiles organizados en cinco especialidades diferentes: Obras públicas, Minas, Montes, Trabajos geográficos, estadísticos y telegráficos. La especialidad geográfica y estadística comprendía todos

los estudios y operaciones relativas a la descripción territorial, incluyendo la geodesia, corografía, topografía, hidrografía, catastro, estadística, y también metrología y meteorología (Nadal y Urteaga, 1990). Por esta razón muchos de los primeros observatorios meteorológicos que se instalan van ligados a proyectos de ingeniería, como es el caso de las estaciones de Riotinto y Cazorla en Andalucía. Como recoge el preámbulo del decreto de 1869 de la Dirección General de Trabajos Geodésicos, Topográficos, Hidrográficos y Geológicos del Reino “En todas las naciones cultas de Europa las cartas corográficas, hidrográficas, las de topografía parcelaria, y los trabajos geodésicos que les sirven de base, son considerados indispensables al buen ejercicio de la administración pública” (Nadal y Urteaga, 1990).

En esta línea de actuación hay que destacar también el papel de sector forestal cuya evolución durante esta época obedece a un doble impulso de privatización y alteración del paisaje agrario. La reforma agraria liberal emprendió una política de expropiación y venta de parte de los montes de los pueblos. La administración de aquellos recursos forestales exceptuados de la venta por la ley se centralizó en el Ministerio de Fomento, que, además de oponerse a la política de enajenaciones alentada por el de Hacienda, fue el principal responsable del incremento de la producción de los montes de utilidad pública, sobre todo desde que, a finales del siglo XIX, comenzaron los trabajos de ordenación y repoblación. En muchos casos, se convirtieron en tierras labrantías, aunque, como ocurriera en las regiones del sur, se salvaron numerosas dehesas e, incluso, se crearon otras nuevas, descuajando el monte bajo para aumentar la oferta de yerbas espontáneas y atender a los crecientes requerimientos de la industria corchera (Barciela et al., p.51) (Figura 8.7).

La gestión ordenada de los recursos madereros y pascícolas de los sistemas forestales se inicia principalmente con los Proyectos de Ordenación aprobados 1893, cuya realización durante el siglo XX no solo sirven para poner en producción bajo criterios de persistencia y estabilidad a los montes sino que supone, principalmente, el reforzamiento de la propiedad pública ante las numerosas agresiones que los montes sufrían y la regulación de los distintos usos (Badillo Valle, 2013).



**Figura 8.7. Los aprovechamientos forestales en las Sierras de Cazorla, Segura y las Villas. Operarios forestales apilando trozas para su transporte mediante teleférico forestal.**



Fuente: Pablo Cavanillas (<http://ruralcazorla.org>).

Como resultado de estas iniciativas se establecen en Andalucía los observatorios de Granada y Sevilla y, posteriormente los de Riotinto, en la provincia de Huelva, y Jaén (Escuela de Agricultura). Otra iniciativa de interés es la publicación, del Anuario *Estadístico de España* en 1859, que recoge los datos de las estaciones existentes. La consolidación de la red de observación culmina en 1867 cuando aparece, con periodicidad anual, el *Resumen de las Observaciones Meteorológicas*.

El primer objetivo de la obra hidráulica era el crecimiento de la producción agrícola mediante la implantación progresiva de tierras de regadío, de ahí el interés por el desarrollo de la red de medición meteorológica. Desde entonces “el número de estaciones fue aumentando en años sucesivos, aunque no todas las nuevas estaciones lograran la permanencia deseable ni todas las primitivas dejaban de sufrir algunas interrupciones (...). La situación, sin embargo, no era satisfactoria ya que, aunque el Observatorio Astronómico centralizaba las informaciones meteorológicas efectuadas en provincias, el envío de ésta no era oficial sino que era remitida de forma voluntaria. Este hecho impedía que este organismo pudiese tener ningún tipo de control sobre la información recogida. Por esta razón gran parte de esta información se ha perdido o presenta problemas de homogeneidad, por la diversidad de instituciones y por no conocer las condiciones que rodeaban la realización de estas mediciones (ubicación, tipo de instrumentos, etc.)”(García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, 1985).

En 1887 se crea el Instituto Central Meteorológico al que se le otorgaban las funciones de centralizar las observaciones y de ofrecer un servicio de previsión del tiempo, aunque el contexto político de España, caracterizado por la alternancia en el poder entre liberales y conservadores, no contribuyó precisamente a que fuera una

institución sólida ya que contaba con escasos medios técnicos y humanos por lo que su desarrollo fue lento. Finalmente, en 1892 el Instituto se instala en los Jardines del Retiro en Madrid, iniciándose un nuevo periodo para la meteorología española.

Estas circunstancias explican por qué en nuestro país comenzó con retraso el desarrollo de la Meteorología. Las circunstancias sociales y las corrientes ideológicas de mediados del siglo XIX impidieron que la mencionada institución se convirtiera en la abanderada de la Meteorología en España, a diferencia de lo que ocurrió en otros países europeos con instituciones similares (Anduaga Egaña, 2012). Este autor denomina a este periodo *De la Ilustración de la post-ilustración: luces y sombras*, y destaca los avances en el desarrollo de la meteorología en España, pese a los obstáculos que se tuvieron que superar (Figura 9.7).

**Figura 9.7. Vista panorámica del Real Observatorio de la Armada en 1928**



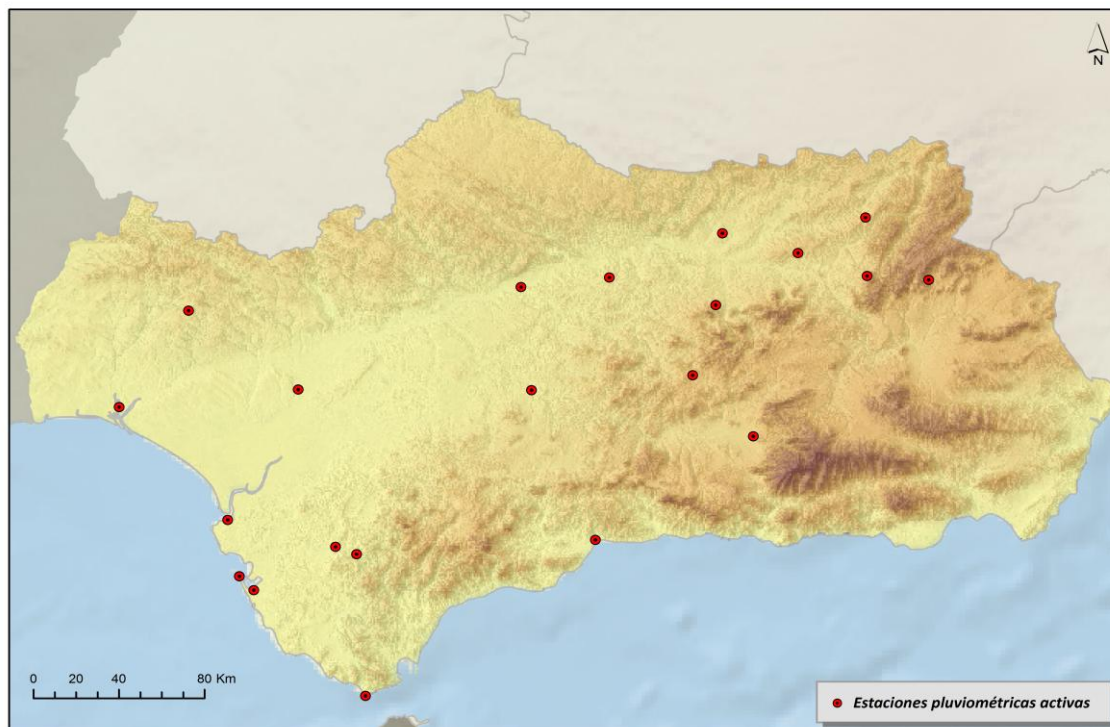
Fuente: ROA ([www.roa.es](http://www.roa.es))

Fruto del impulso por desarrollar una red de observación van apareciendo en el siglo XIX y principios del XX los observatorios que se recogen en la Tabla 1.7 y que constituyen las series históricas más largas de Andalucía. La mayor parte de estas estaciones han cambiado su ubicación una o varias veces respecto a su emplazamiento original aunque mantienen el mismo código de identificativo, lo que dificulta establecer la fecha de cada nueva ubicación.

La representación cartográfica de estos observatorios (Figura 10.7) muestra cómo la mayor parte de ellos se localizan en las capitales de provincia, en Universidades, Institutos o en centros de interés por su actividad económica, como es el caso de las minas de Riotinto, las bodegas de Sanlúcar de Barrameda, la cooperativa olivarera de Bujalance, mientras que otros están ligados a necesidades hidrológicas, como es el caso de Jerez (Tempul) o el pantano de Guadalcaén. La única provincia sin observatorios de medición en esta etapa es Almería que comienza su primera serie en

la capital en 1911. Destaca la concentración de estaciones en la sierras de Cazorla asociada a los trabajos forestales y posiblemente ligados a los trabajos previos a la construcción del pantano de Tranco de Beas cuyo primer proyecto se aprueba en 1912 (Briones, 1946).

Figura 10.7. Estaciones pluviométricas en el periodo (1800-1910).



Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

Si hasta entonces los datos meteorológicos que se publicaban en los resúmenes tenían la finalidad de establecer el clima de España y en cada una de sus regiones, ahora se hace necesario, además, intentar una previsión científica del tiempo. Esta nueva función supone un incremento de la demanda de información meteorológica y una coordinación a nivel nacional e internacional. Estos factores tienen como consecuencia el despegue de la meteorología y la extensión de la red de observación española.

Conscientes de las dificultades y limitaciones aún existentes, van realizándose propuestas organizativas dirigidas a constituir una sólida y bien desarrollada red de observación a nivel nacional que, sin embargo, por cuestiones presupuestarias se retrasa con un pretexto: “cuando se hayan completado los medios necesarios para el funcionamiento del Instituto, será ocasión para la reforma y ampliación de los estudios meteorológicos en España. Pero intentarlo antes sería arriesgado, pudiéndose perder lo poco que ahora existe” (*Op. Cit.*).

En 1904, un ilustre sevillano, Augusto Arcimís Wehrler logra unificar las dos instituciones que hasta entonces se ocupaban de la meteorología: el Observatorio

Astronómico y Meteorológico y el Instituto Central Meteorológico que pasan a depender el Instituto Geográfico, reorganizándose y unificándose así las actividades meteorológicas. Con esta fusión concluye la etapa de consolidación de la Meteorología en España.

Como recogen García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, el informe que Arcimís redactó en 1905 da buena cuenta de las mejoras que proponía “en los locales e instalaciones, haciéndose así posible la prestación de mayores servicios, como predicciones especiales de galernas en la costa cantábrica, otras de aplicación a la agricultura, de olas de frío y heladas para las regiones de Levante”. También hacía referencia a la “meteorología dinámica”, la investigación de las temperaturas y corrientes aéreas de las capas altas de la atmósfera, así como a la climatología y sus aplicaciones, proponiendo como primera actividad la construcción de un mapa pluviométrico de España, para lo que habría que distribuir un gran número de pluviómetros, a cargo de colaboradores.

A partir de entonces, en los inicios del siglo XX, se abre una nueva etapa con el despegue y pleno desarrollo de esta institución meteorológica en España y, en paralelo, de las disciplinas que abordan el estudio de la atmósfera. El número de estaciones de observación no cesará de crecer y la nueva organización del Instituto permitirá aumentar y diversificar los servicios de esta institución.

#### **7.2.2.2. Segunda etapa. La creación de la red de observación (1911-1950)**

Un país con un territorio dedicado mayoritariamente a la agricultura de secano, la producción agraria depende de la cantidad de agua que anualmente cae del cielo y de su distribución a lo largo de las estaciones. El crecimiento sostenido de la producción agraria en el primer tercio del siglo XX va unido a una notable ampliación de la superficie agraria útil, a la diversificación de los cultivos y a la difusión de algunas innovaciones técnicas (Barciela *et al.*, 2005). La evolución de la agricultura española estuvo unida a la transformación técnica del sector durante el siglo XIX y el primer tercio del siglo XX.

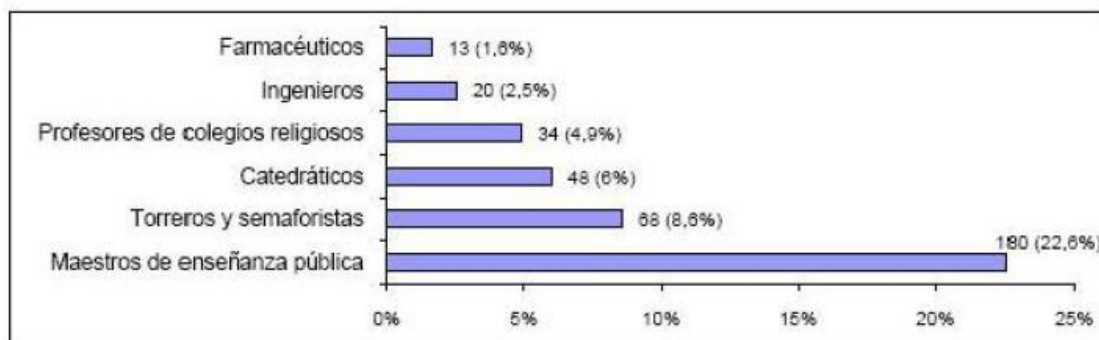
Barciela López describe la intensa actividad de aquellos momentos: “Durante las tres primeras décadas del siglo XX se fue imponiendo una nueva forma de intervención estatal en ciertos sectores de la economía, principalmente en aquellos que implicaban una serie de operaciones de dotación de infraestructuras de gran entidad, que por su naturaleza y por la cuantía de los desembolsos que exigían rebasan la capacidad de la iniciativa privada. Tal era el caso de las actuaciones que se derivan de la política de transformación en regadío, y en relación con ella, la de asentamiento de colonos. (...). Así, la política colonizadora, que se va definiendo desde principios del siglo XX, se configura como un tipo de reforma agraria técnica, entendida como complemento de

la política hidráulica y como alternativa a una reforma agraria de tipo social que se planteará, entre sus fines, la redistribución de la tierra. (...) No en vano, la colonización se entendía como un electo inducido por la transformación de los terrenos de secano en regadío, de manera que la idea de transformar en regadíos extensos territorios fue ganando adeptos en una coyuntura marcada por las consecuencias de la crisis finisecular. La política hidráulica, entendida como la planteaba Joaquín Costa, se convirtió en la panacea capaz de resolver todos los males de la agricultura” (Barciela López et al., p.59).

Podemos afirmar que desde finales del siglo XIX la ampliación de la red de observación meteorológica va ligada a la necesidad de dar respuesta a la política hidráulica, de la que dependía la ampliación de la superficie de riego (Ley de Obras de Puesta en Riego de 1932)

En 1911 se autorizan los créditos para poner en marcha la red pluviométrica española, cuya necesidad había sido expuesta en múltiples ocasiones por los responsables de la meteorología. Se consigue el apoyo de diversos organismos que ofrecieron su colaboración además de hacer un llamamiento para conseguir voluntarios que realizarían las tareas de toma de observaciones. En ese sentido hay que destacar la alta participación de los maestros de enseñanza pública, como se aprecia en la siguiente figura (Figura 11.7).

Figura 11.7. Profesiones de la red de colaboradores en 1917.



Fuente: Anduaga (2005). Elaboración propia.

El entonces Observatorio Central Meteorológico pudo multiplicar las estaciones pluviométricas y termoplumiométricas de instalación mucho más sencilla y para las cuales era más fácil encontrar personal voluntario. En toda España se instalan sólo ese año 172 estaciones.

A medida que avanzaba el siglo XX, el papel de los servicios meteorológicos adquiere una mayor importancia, debido sobre todo a dos circunstancias nuevas: por una parte el progreso de las ciencias atmosféricas y la tecnología meteorológica, y por otra el desarrollo de la aviación.

La Primera Guerra Mundial va a revolucionar la meteorología principalmente por el papel que desempeña la aviación militar, y posteriormente la comercial que se convierten en los usuarios más exigentes de la información de los servicios meteorológicos, obligando a renovar estructuras y profesionalizar su funcionamiento. Durante la década de 1920 la aviación se constituyó en objeto de atención primordial del Servicio Meteorológico Español que tenía cuatro secciones operativas: Predicción, Climatología, Aerología y Aeronáutica (Palomares, 2012).

Desde que finaliza la Guerra Europea, el desarrollo que tuvieron los servicios aéreos militares y civiles obligó a introducir constantes modificaciones en la predicción del tiempo y aparecen estaciones meteorológicas en las bases militares que se crean, como las de Tablada (Sevilla) o Granada, en las cuales se instalaron servicios meteorológicos de apoyo a la aviación. También en zonas de interés geoestratégico se organizan servicios de observación, como en el Estrecho de Gibraltar.

Todos estos cambios van a exigir una nueva reorganización de la Meteorología en España. En 1920 ya se había previsto una dotación de 11 nuevos observatorios para cubrir las necesidades aeronáuticas. Como exponía el real Decreto, la ampliación de los servicios meteorológicos era una necesidad resultante de las demandas de observación y predicción del tiempo para la agricultura, la aviación y la navegación, y por ello se establecía una organización orientada a la mayor unidad de los servicios. Aparece entonces la denominación de “Oficina central” y “Centros Regionales” y se produce un importante aumento del cuerpo de meteorólogos, muy ligado a la red meteorológica de aviación, compuesto por observatorios del SMN y otros en aeródromos militares y civiles elegidos por su situación estratégica para las rutas más utilizadas.

En el año 1933 se inicia un periodo que durará hasta 1978 en el que la meteorología española se militariza, estando encuadrada en organismos aeronáuticos. El desarrollo de la Aviación con su creciente necesidad de información meteorológica y un mayor conocimiento de la atmósfera, llevó a unir al Servicio Meteorológico los sucesivos organismos responsables de las actividades aéreas. En esta etapa la influencia de la avanzada tecnología alemana y de la Escuela noruega de Bergen contribuyen a la incorporación de nuevos conocimientos meteorológicos.

Otro hecho importante en este periodo es la fundación en 1927 de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) creada por Real Decreto-Ley de 22 de Septiembre de 1927. Las Confederaciones Hidrográficas respondían a criterios de descentralización institucional y tenían por objeto, sobre la base de un río principal, confederar todos los aprovechamientos existentes en él y en sus afluentes, cualesquiera que fuese la forma de los aprovechamientos, su importancia y el destino que tuvieran las aguas. La CHG recopila los trabajos realizados por los Servicios Hidráulicos del Guadalquivir

ampliándolos, mejorándolos y contribuyendo con ellos al Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933.

En este periodo se continuó con la construcción y explotación de presas y se puso en regadío una superficie total de 32.314 Ha en las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén; siendo los principales cultivos el algodón, el maíz, el girasol, los cereales, los cítricos y el olivar. Paralelamente se lleva a cabo la ejecución de trabajos forestales de interés para la Confederación, como obras de corrección de torrentes, estudios y proyectos, informes y valoración de terrenos, conservación y mejora de los montes, o aprovechamientos forestales de terrenos expropiados para la construcción de embalses (CHG). Toda esta actividad requería un buen conocimiento del medio, siendo la información climatológica una de las más importantes. Sería motivo de una investigación específica documentar estas actividades en relación a la instalación de pluviómetros en los primeros momentos de expansión de la red.

**Figura 12.7. Obras de construcción de infraestructuras hidráulicas.**



Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Al iniciarse la Guerra Civil se interrumpieron las actividades en muchos observatorios y estaciones; en algunos sólo por unos días, en otros casos por largo tiempo y, fueron muy contadas las zonas en las que las observaciones no sufrieron interrupciones. Anduaga Egaña estima que en España desaparecieron durante el primer año de la Guerra Civil “el 20% de las estaciones de primer orden, el 51% de las de segundo y el 69% de las de tercero. Esto indica que las más modestas (pluviométricas y termométricas) fueron las primeras en ser abandonadas” (Anduaga Egaña, 2012, p.339). Sin embargo, en Andalucía no se observa este descenso marcado del número de observatorios durante la Guerra, como sí se produce en muchas zonas y que se aprecia en la figura de la evolución a nivel nacional de la figura anterior (Figura 12.7). Uno de los factores que podría explicar este hecho puede ser el propio devenir de la contienda, con una rápida estabilización del frente de la Guerra al norte de Andalucía,



y el rápido control por parte de las fuerzas nacionales rebeldes de la práctica totalidad del territorio andaluz.

“Durante la Guerra Civil el Servicio se divide en dos, uno por cada bando y se militariza. (...) En los años de la Guerra y la postguerra, la meteorología perdió sus referentes históricos, sufriendo un doble proceso de militarización y de instrumentalización. De este modo, la meteorología devino un conocimiento estratégico con valor operativo, que fue instrumentalizado por cada bando militar como auxiliar de sus propias tácticas bélicas. Ahora bien, mientras en el bando republicano el Servicio compaginó la movilización bélica con la investigación atmosférica, en el bando sublevado se creó un servicio *ex profeso* para la guerra, cuyo personal y estructura quedaron sometidos al liderazgo militar” (Anduaga Egaña, 2012, p. 355).

En 1939 se crea el Ministerio del Aire, al que queda adscrito el Servicio Meteorológico, estableciéndose una sección de Meteorología y Protección de Vuelo, reflejo de la importancia de estos servicios para la aviación. Como aclara Anduaga Egaña “en los años cuarenta la compenetración ente meteorología y la aeronáutica (bien civil o militar) no era específicamente española. Reglas e instrucciones sobre la forma de garantizar la protección meteorológico de los vuelos eran de interés para órganos como la Organización Meteorológica Internacional” (*Op. Cit*, p. 319). La militarización de la meteorología tiene como consecuencia que desde 1940 se superpongan dos organizaciones: una administrativa, propia del Ministerio del Aire, correspondiente a las regiones Aéreas y Zonas Aéreas, y otra técnica, propia del SMN y los Centros Meteorológicos, ajustados a regiones geográficas naturales, que en general eran las cuencas hidrográficas de mayor importancia.

En 1946 las estaciones cubren la práctica totalidad del territorio andaluz como puede comprobarse en la siguiente tabla (Tabla 2.7).

**Tabla 2.7. Estaciones de los centros territoriales de Andalucía.**

		Estaciones					
		Sinópticas		Climatológicas			Fenológicas
Centro Meteorológico	Provincia	Internacionales	Complementarias	Primer orden	Segundo orden	Tercer orden	
Cuenca del Guadalquivir	Sevilla	4	3	12	27	325	19
Costa Sur	Málaga	2	0	4	14	31	7
Total		6	3	16	41	356	26

Fuente: García de Pedraza y Giménez de la Cuadra (1985).

Tras la crisis finisecular, las políticas emprendidas a lo largo del primer tercio del siglo XX, la denominada *reforma agraria técnica*, produjo cambios profundos en las condiciones económicas, sociales y tecnológicas debido al "entramado institucional de la innovación". La Guerra Civil y la larguísima postguerra suponen un enorme retroceso, de ahí que el proceso innovador en los años cincuenta y sesenta tuviera que

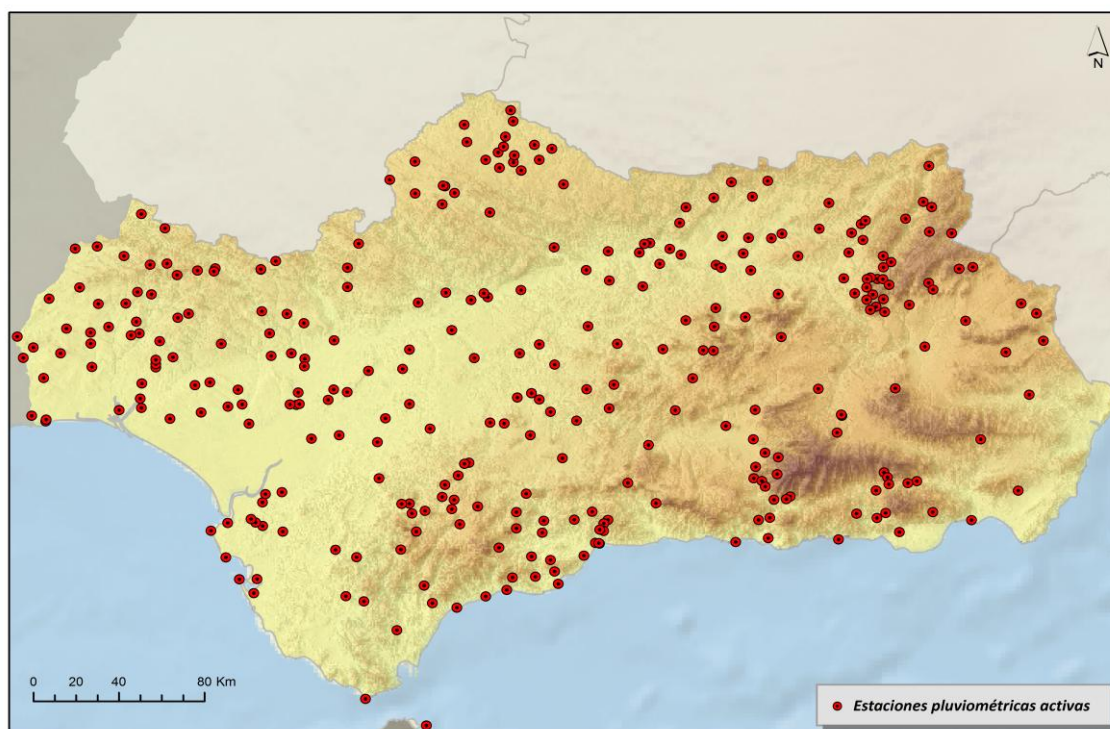


asentarse sobre un medio social, productivo e institucional muy diferente al que existía en los años treinta (Fernández Prieto y Pujol Andreu, 2001).

Las políticas intervencionistas en el sector primario puestas en marcha por el régimen franquista, tuvieron importantes repercusiones sobre la evolución de la agricultura y la sociedad rural en Andalucía. El acentuado regulacionismo económico llevado a cabo en los primeros años de la dictadura franquista, no solamente retrasó la adaptación de la agricultura a las exigencias cambiantes de los mercados nacional e internacional de productos alimenticios y materias primas, sino que fue el responsable directo del estancamiento y la parálisis del sector hasta el comienzo de los años cincuenta (Cobo Romero y Ortega López, 2004).

Lentamente se va configurando la red de medición pluviométrica que dará respuesta a las necesidades de información climática de muchos de los planes de desarrollo entre otras motivaciones. Como podemos observar en la siguiente figura (Figura 13.7) al final del periodo Andalucía presenta una densidad de estaciones aceptable, aún quedan zonas poco cubiertas como la provincia de Almería, el campo de Gibraltar y costa suroccidental gaditanas, Doñana y en Sierra Morena en torno a las sierras de Hornachuelos, Sierra de los Santos y las Sierras de Cardeña y Montoro en la provincia de Córdoba. El gran despegue comienza a producirse en 1945 con casi 150 estaciones hasta alcanzar 1950 se alcanza 269 observatorios pluviométricos en toda la región.

**Figura 13.7. Estaciones meteorológicas durante el periodo 1911-1950**



Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

Entre 1936 y 1953 se produce un colapso en las zonas de regadío de Andalucía que pudo estar motivado por la coyuntura autárquica en la que las producciones agrarias más dinámicas se contraen, y el que dejen de funcionar algunos de los incentivos que en décadas anteriores habían promovido la expansión e intensificación del regadío. Estas circunstancias pueden explicar el relativo estancamiento en el número de estaciones meteorológicas hasta finales de los años cuarenta.

En resumen, toda esta etapa (1911-1950) se corresponde con la *maduración del paradigma hidráulico*: primeros Planes de Obras Hidráulicas (de 1902 a 1918), Leyes de Auxilios a Regadíos (1909, 1911), creación de las Confederaciones Hidrográficas (desde 1926 en adelante), Plan Nacional de Obras Hidráulicas (1933, 1939) hasta la lenta recuperación y posterior lanzamiento de estos proyectos tras la guerra civil. Posiblemente los cambios políticos que ponen fin a este período autárquico, y la Ley de 1949 sobre Colonización y Distribución de la propiedad en las Zonas Regable, consiguieron activar el sector agrario. Todos estos factores pueden estar en el origen del súbito incremento en el número de observatorios que se produce a partir de 1950 en Andalucía, iniciándose una nueva etapa. Este comportamiento no se produce a nivel nacional en donde, desde final de la guerra se observa un crecimiento sostenido, como se puede apreciar si comparamos las figuras anteriores (Figura 10.7 y 13.7).

### 7.2.2.3. Tercera Etapa. La expansión y consolidación (1951-1960)

La Segunda Guerra Mundial supuso un importante avance de la meteorología debido al desarrollo que alcanza la aeronáutica lo que implicaba nuevas exigencias principalmente en la previsión de los fenómenos atmosféricos. Así, el Servicio Meteorológico nacional (SMN) vio aumentar sus responsabilidades, teniendo “que ir adaptando, sobre la marcha, los medios a la realidad, sin apenas tiempo para planificar. La Meteorología oficial ve aumentar grandemente su esfera de control y surgen nuevas aplicaciones fuera del campo de la aeronáutica” (García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, 1985). En tan sólo un año el número de observatorios pasa de 200 a 653. 1951 marca claramente un cambio en la red de observación para Andalucía. Desde que finaliza la Guerra Civil el Servicio formó parte del Ministerio del Aire, del que dependía también la aviación civil manteniéndose una estructura militar.

Una clara manifestación del auge e importancia que experimenta la Meteorología es el incremento de demandas y servicios al SMN y que están motivados principalmente por dos circunstancias: que el Ministerio del Aire es el responsable de la predicción meteorológica para la aviación, la navegación marítima y las fuerzas militares, y que las reformas franquistas exigen un mayor nivel de información como pone de manifiesto la Orden Ministerial de 1951 por la que se crea la sección de Meteorología Marítima

del SMN y en 1954 la Sección de Meteorología Agrícola, con la idea de coordinar el SMN y varias dependencias del Ministerio de Agricultura.

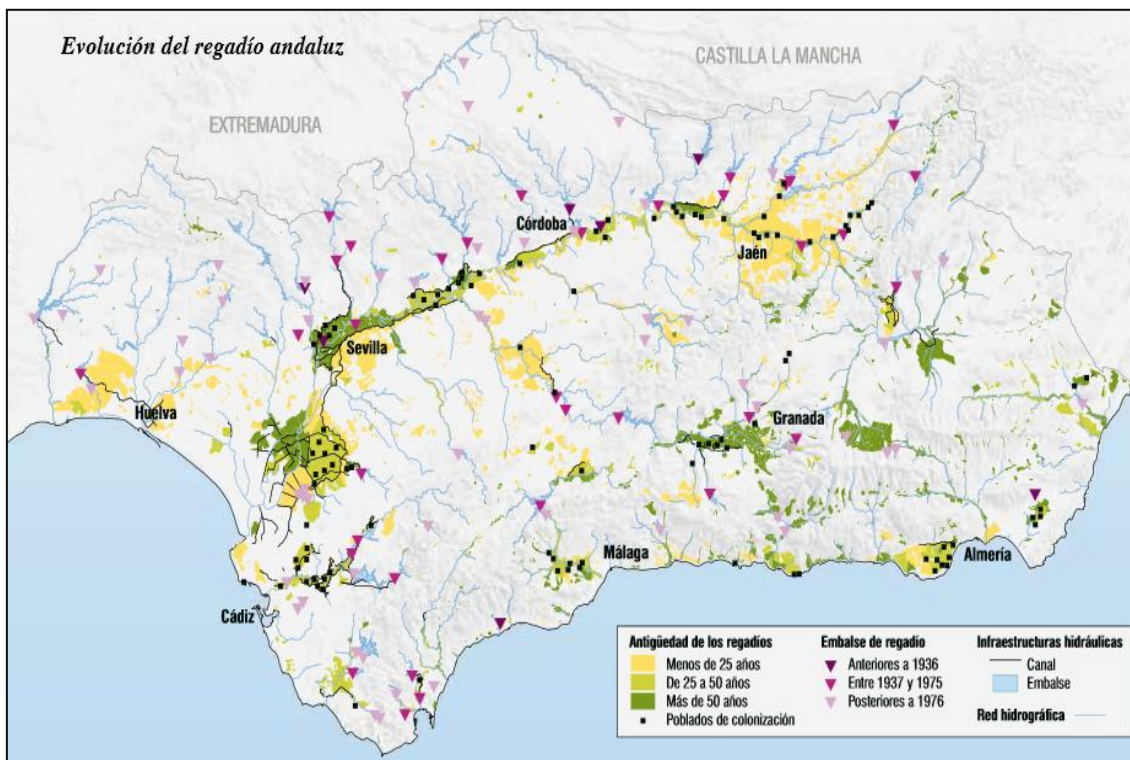
Para satisfacer las necesidades militares se potencian y modernizan los observatorios situados en bases, puertos y aeródromos militares: Morón (Sevilla), Jerez (Cádiz), Armilla (Granada) o la Oficina Meteorológica del Departamento Marítimo de Cádiz. Por otro lado, para atender a las necesidades específicas de la agricultura se le asignan a la Sección de Meteorología Agrícola las funciones de “fomentar la realización de observaciones meteorológicas, formular planes de aviso, informes y predicciones, recopilar y publicar datos y estudios de climatología agrícola, coordinar la investigación agrometeorológica” (*Op. Cit.*). Esta Sección de Meteorología Agrícola va tomando cada vez mayor amplitud lo que se refleja en la ubicación de las estaciones meteorológicas en el ámbito rural.

En los años cincuenta, y sobre todo en los sesenta, el fin del aislamiento del régimen, el desarrollo económico y el turismo, propiciaron nuevos usos de la meteorología.

Pensamos que los cambios experimentados en la agricultura pudieron contribuir a la expansión y consolidación de la red de medición pluviométrica. Como explica Barciela y otros, un paso decisivo para finalizar la política autárquica en el sector agrario, fue el nombramiento de Rafael Cavestany como ministro de Agricultura en 1951 quien inicia una nueva etapa que pone punto y final a la rígida política intervencionista. Algunas de sus líneas de actuación fueron: incrementar la productividad, emprender una eficaz política de colonización (Iniciada con la Ley de 1949 sobre Colonización y Distribución de la Propiedad en Zonas Regables), potenciar la repoblación forestal, apoyar la economía rural, tomar medidas contra la erosión de suelos, impulsar la protección técnica para el campo (investigación y extensión agraria, formación para el campesinado).

El proyecto inicial de promover la transformación privada de las tierras fracasó por el desinterés de los terratenientes, pero la aprobación de la Ley de 1949 de Colonización de Grandes Zonas Regables, por la que el Estado se hacía cargo de los cambios necesarios para la ampliación del regadío, supuso un salto cualitativo hacia la transformación integral del territorio. El Instituto Nacional de Colonización construyó, entre 1943 y 1970, trescientas poblaciones y trasladó a 55.000 familias, de las que 113 se ubicaron en el territorio andaluz: 23 en Jaén, 23 en Sevilla, 17 en Cádiz, y un número menor en el resto de provincias. Estas políticas aunque no alcanzaron sus objetivos, en buena parte por la resistencia de los grandes propietarios a vender sus propiedades y por la falta de aplicación de un modelo agrario verdaderamente innovador, tuvieron un gran impacto en el territorio andaluz, especialmente en las cuencas del Guadalquivir y del Guadalete (IECA) (Figura 14.7).

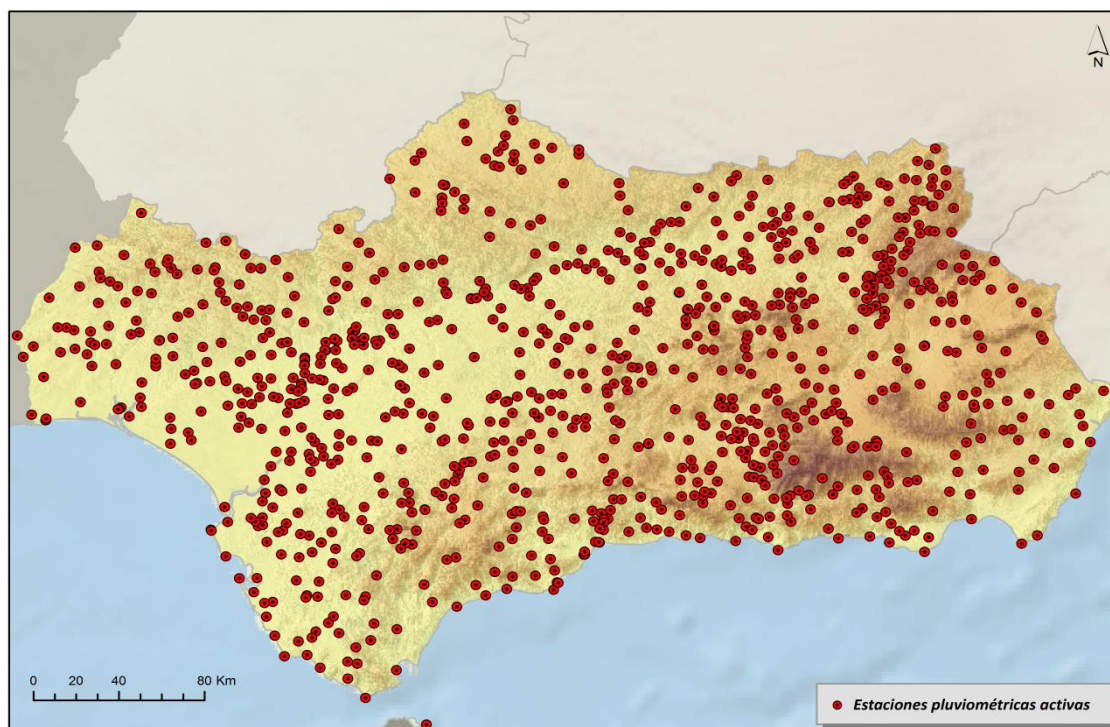
Figura 14.7. Evolución del regadío andaluz.



Fuente: Atlas de la historia del territorio de Andalucía (IECA)

Esta política dio lugar al periodo de máximo esplendor de la agricultura tradicional, aunque apunta a una crisis definitiva y al desarrollo de la moderna agricultura, ligada a las técnicas de la llamada “revolución verde” (Barciela et al., 2005, p.90). En efecto, la década de los años cincuenta fue una época favorable para la agricultura tradicional, con abundante mano de obra, lo que suponemos contribuyó a la valoración de la información climática y a la potenciación de la consolidación de la red, ya que las mediciones siguen incrementándose y se superan las 800 estaciones tan sólo en la década de los cincuenta (Figura 15.7).

Figura 15.7. Estaciones meteorológicas durante el periodo 1951-1960.



Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

La densidad de estaciones en este periodo cubre el territorio andaluz en su práctica totalidad con una buena densidad incluso en las zonas de montaña exceptuando Sierra Nevada, Sierra de los Filabres y las mismas zonas peor cubiertas que mencionábamos en la etapa anterior (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Número de estaciones pluviométricas por décadas desde 1940<sup>1</sup>.

Periodo	Nº Estaciones	Acumulado
Antes 1940	135	135
1940<1950	131	269
1951<1960	591	857
1961<1970	251	1108
1971<1980	94	1202
1981<1990	53	1255
1991<2000	4	1259

Otro de los factores que influye poderosamente en el impulso y desarrollo en este periodo de la red, es la incorporación y compromiso de España con la red aerológica europea y con instituciones meteorológicas de carácter internacional. En 1951 España se incorpora como Estado miembro a la recién creada Organización Meteorológica Mundial y participa en reuniones y congresos internacionales. Estos compromisos traen consigo la creación de nuevas estaciones que completan la red de radiosondeos

<sup>1</sup> Las cifras provienen de nuestro banco de datos (en el que se han depurado muchas estaciones por su falta de calidad, pocos años de medición, etc..) por lo que no se corresponden con el número real de observatorios.



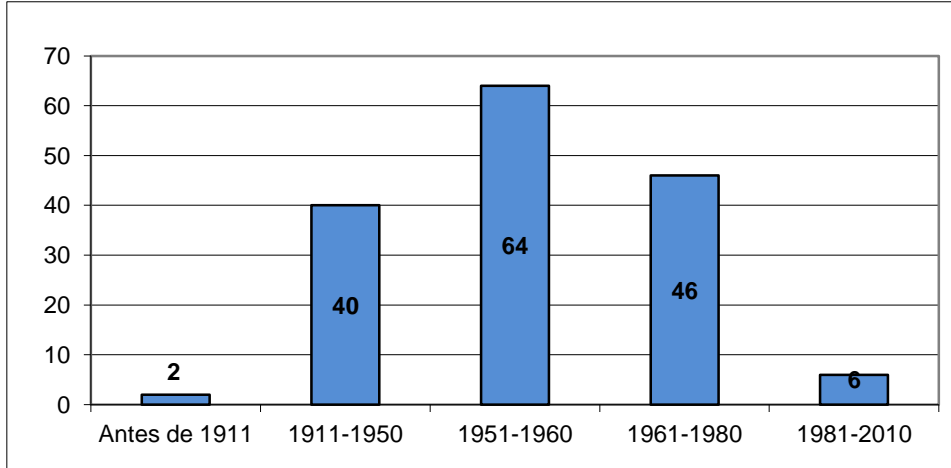
y sinóptica. Esta última red se aumentó entre 1955 y 1985 al incorporarse a ella nuevos observatorios meteorológicos, especialmente en aeropuertos.

En los años 60 el SMN cambia de ubicación trasladándose a la Ciudad Universitaria de Madrid y asume nuevas competencias convirtiéndose en Centro de Nacional de Análisis y Predicción (CNAP) capaz de realizar pronósticos especiales, aeronáuticos, agrícolas, hidrológicos, etc., cada vez más demandados. Así, “en 1970 había ya más de 400 contratados en oficinas meteorológicas, en centros y aeropuertos. Mientras que las necesidades de aeródromos y bases militares eran cubiertas por la Escala Militar de Especialistas Auxiliares de Meteorología del Ejército del Aire”(García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, 1985).

A partir de 1951 la economía española experimentó una paulatina mejoría, lo que permitió incrementar las dotaciones económicas para infraestructuras hidráulicas dirigidas a la construcción de presas de embalse, ampliar los terrenos de regadío y el abastecimiento de la población. De esta forma se daba respuesta a la necesidad prioritaria de *agua para beber* (CHG). El objetivo era hacer frente al “desabastecimiento ocasionado por la irregularidad hídrica típica del clima mediterráneo” (Naredo, 2006) y paliar la escasez endémica de agua. Como observó Alfonso Ortí “la política hidráulica debía constituir el vector fundamental de la política nacional”, aunque desvela Naredo: “La promoción de obras hidráulicas generó así exigencias que resultaban cada vez más difíciles de colmar, como es la avidez sin límite de extender el regadío y los asentamientos poblacionales o industriales por territorios áridos, con la consiguiente revalorización de terrenos” (*Op.Cit*).

Efectuando una búsqueda en la base de datos sobre los nombres de las estaciones de carácter hidrológico de la AEMET que contengan términos tales como, pantano, compañía de aguas, presa, embalse, aforos, acequia, canal, confederación, esclusa, arroyo, nacimiento, fuente, molino, etc., se constata que el incremento de este tipo de estaciones se produce principalmente entre 1951-1960, coincidiendo con el periodo de desarrollo de la política hidráulica (Figura 16.7).

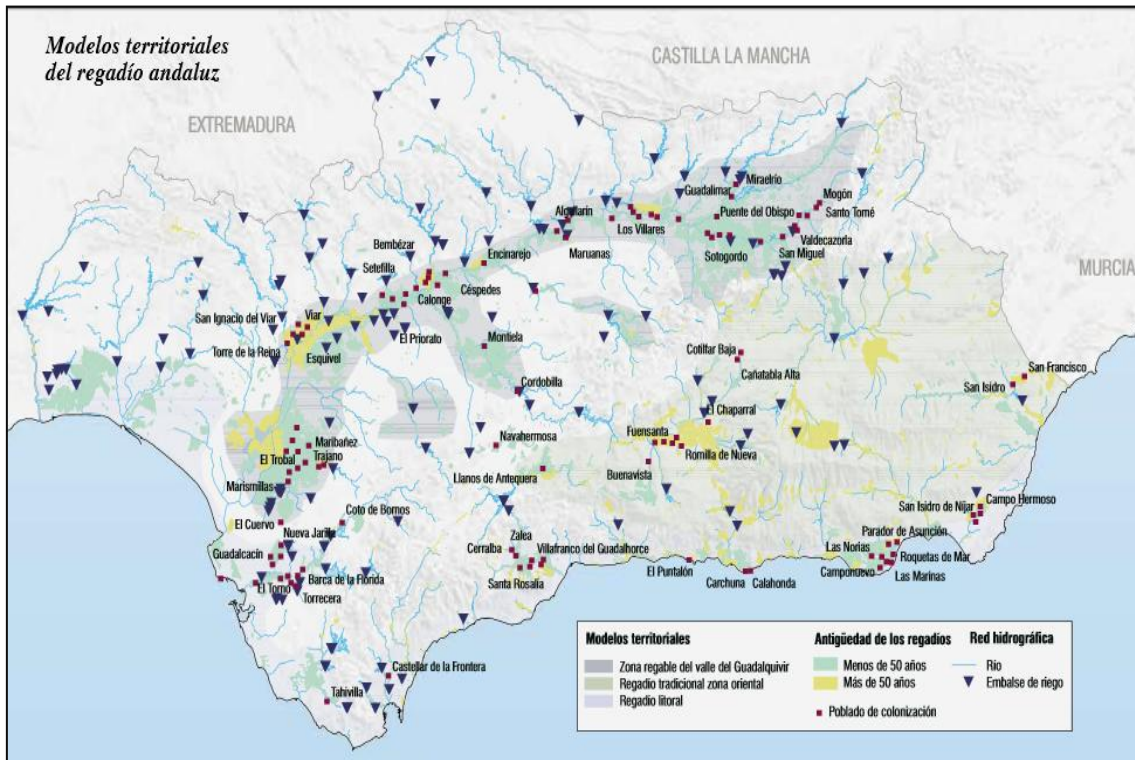
Figura 16.7. Número de estaciones con denominaciones hidrológicas por periodos



Fuente: Elaboración propia a partir de la información de estaciones pluviométricas de Aemet

En la siguiente figura (Figura 17.7) se representan las principales zonas regables y los embalses destinados a riego. El desarrollo de la red de medición no cesa de impulsarse con el fin de vincular las actividades meteorológicas a la agricultura. “Centros como institutos agrícolas y granjas experimentales situaron la meteorología dentro del estudio racional de los fundamentos de la producción agrícola. (...) Asimismo, es preciso advertir el interés firme por difundir, entre algunos miembros de la clase terrateniente y propietaria, las ventajas de la nueva agricultura científica (o agronómica)” (Anduaga Egaña, 2012, p. 196).

Figura 17.7. Modelos y antigüedad de los regadíos andaluces.



Fuente: Atlas de la historia del territorio de Andalucía (IECA)

Cerramos una etapa de expansión y consolidación de la red de medición pluviométrica impulsada fundamentalmente por tres intereses que dirigen la política nacional: el desarrollo de la política hidráulica, la expansión del regadío y la militarización de la meteorología y de la ciencia atmosférica debido al interés posterior del régimen dictatorial y de marcado carácter militar. El control férreo del Ministerio del Aire sobre los Servicios meteorológicos tras la Guerra, como comenta Anduaga Egaña “apunta un hecho diferencial de la experiencia española respecto a la prevaleciente en Europa” (*Op. Cit.*, p.23) que supuso también la militarización de la ciencia en general en España.

#### **7.2.2.4. Cuarta etapa. El esplendor (1961-1985)**

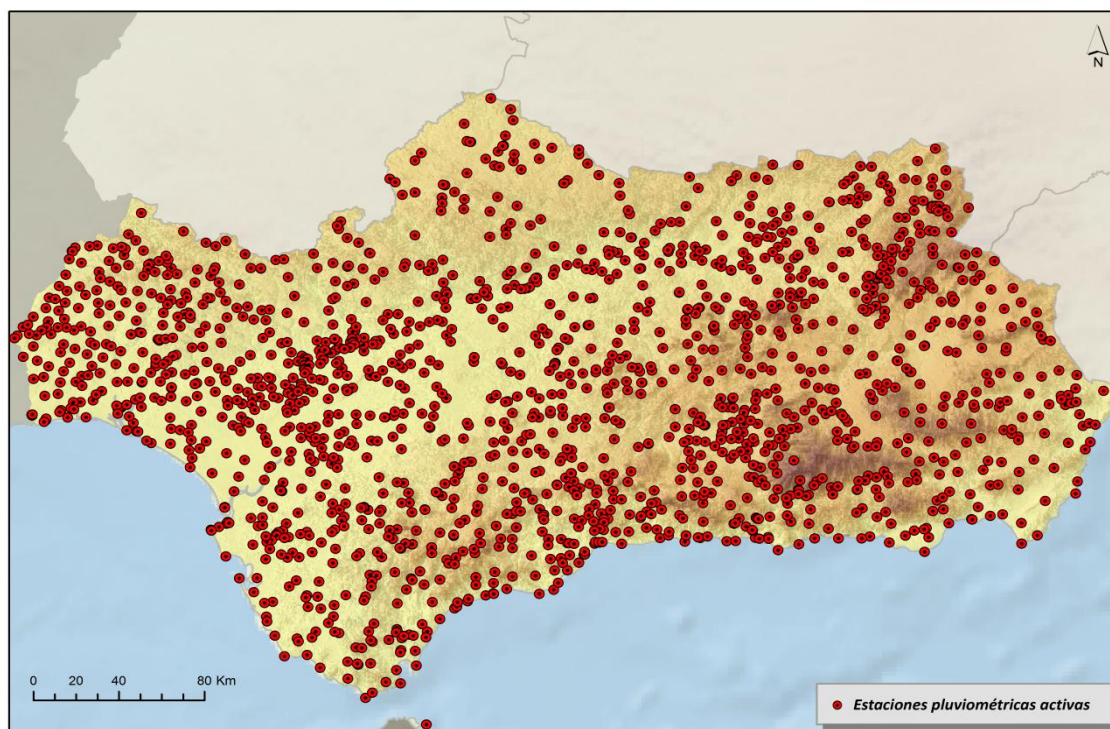
La política agraria de los años sesenta y primeros de los setenta partía de la base de que todos los problemas del campo tenían una solución: difundir las nuevas técnicas y facilitar los medios financieros que exigía su aplicación. Hasta 1973 la agricultura española conoció un periodo de expansión que coincide con el incremento de la red pluviométrica (Barciela et al., 2005, p.90).

En 1971 un Decreto aprueba la nueva estructura del SMN, con vistas a una más racional utilización de los medios materiales y humanos. Como funciones específicas se le asignan, entre otras, proporcionar datos a los usuarios oficiales y particulares, apoyar a las Fuerzas Armadas, facilitar certificados e informes oficiales, investigar, formar, y mantener los convenios y colaboraciones con los organismos internacionales. Este reglamento estuvo vigente hasta 1978, cuando el INM pasa al Ministerio de Transportes y Comunicaciones. A pesar de que en el preámbulo del Real Decreto, se indican también como responsabilidades el mantenimiento y continuidad de las actividades meteorológicas, esto no se tradujo en el mantenimiento y adecuación de la red de observación.

Hasta entonces “los aumentos de las plantillas estaban justificados por las necesidades propias del Servicio, el aumento considerable de trabajos, principalmente los relacionados con la ayuda a la navegación aérea, la navegación marítima y los demás aspectos de las actividades meteorológicas que en modo muy favorable afectan a la economía de un país” (García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, 1985). En 1974 se produce la última expansión, en la que van parejos el desarrollo de la red con la creación de un cuerpo de funcionarios encargados de su explotación, creándose el Cuerpo de Observadores, reconocidos como personal especializado (Figura 17.7).



Figura 18.7. Estaciones activas durante el periodo 1961-1985.



Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

En 1978 los poderes públicos deciden integrar los servicios de meteorología en la Administración civil del Estado, adscribiéndolos al Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones bajo el nombre de Instituto Nacional de Meteorología (INM); la reorganización que supone este cambio lleva consigo una total transformación en la Meteorología Oficial, que tras casi cuarenta años adscrita a un departamento militar (1939-1978), pasa a un Departamento Civil. A partir de ese año el número de observatorios ha ido disminuyendo hasta nuestros días. El año 1977 es para Andalucía el que presenta un número mayor de estaciones activas con más de 1.200.

Probablemente las causas de ese declive son múltiples, aunque la principal sería la profunda crisis económica motivada por el petróleo que se inicia en 1973 y que tuvo una incidencia en el sector agrario realmente decisiva truncando el modelo de crecimiento de la década anterior. Barciela y otros explican que “el verdadero cambio de la política agraria se produjo con las actuaciones del ministro Lamo de Espinosa (1978-1981), las cuales fueron un intento de renovación y puesta al día de la política agraria (...) se consolidó el objetivo de gestionar de forma más eficiente los recursos del país, lo que se plasmó en las nuevas medidas para fomentar las producciones deficitarias y en la política de regadío, en la que se continuó la reducción de la participación directa del Estado en la transformación y mejora de los regadíos” (Barciela et al., 2005, p.95).

Es aventurado suponer que los cambios políticos en el país hayan podido ser una causa directa de la desatención que empieza a experimentar la red de medición en estos

años, pero dan la medida de unas circunstancias que no parecen favorables a mantener sus costes. No es de extrañar que la intensa emigración de la población rural se uniera a la precariedad presupuestaria a la hora de encontrar personal que continuara la toma de mediciones, siempre dependientes de la buena voluntad de los observadores.

Por otra parte, los inicios de la transición política en España fueron años de gran inestabilidad en los que se asistió a un profundo cambio que afectó a la económica y muy especialmente a la agricultura. Por último, esta transición política supuso el cambio de los servicios meteorológicos de una institución militar a la administración pública lo cual puede constituir otra causa. Quizás la organización y los medios de que disponían los militares fuesen más adecuados para el mantenimiento, control, y continuidad de las mediciones. Lamentablemente, no hemos encontrado en la historia reciente de la meteorología y sus instituciones, estudios que puedan explicar este deterioro.

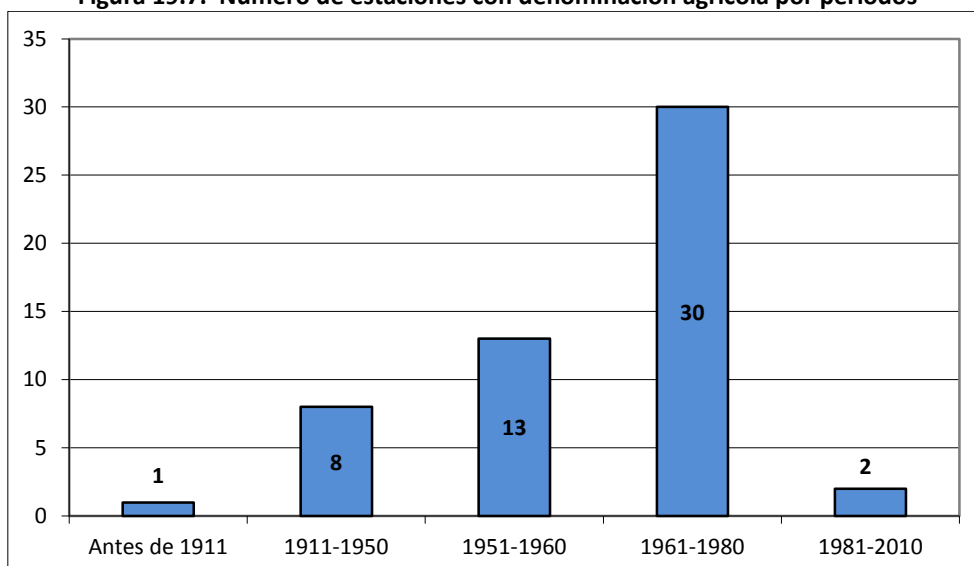
El período comprendido entre la década de los cincuenta y el momento actual se caracteriza por una transformación más intensa de nuestra agricultura cuando la economía española empieza a participar de lleno en el crecimiento económico. Hay que destacar en Andalucía el papel de los regadíos, que experimentan una formidable expansión. Entre la segunda mitad de la década de los cincuenta y los años noventa amplias zonas de la península quedan diferenciadas por el distinto nivel de intervención que hubo en cada una de ellas relacionado con la construcción de grandes vías de captación y utilización del agua, de embalsamiento y canalización de las aguas fluviales. Este desarrollo es especialmente significativo en las cuencas del Ebro, el Duero, el Tajo, el Júcar, el Guadiana y el Guadalquivir. Hay que incluir igualmente, que la captación de aguas subterráneas con pozos de diferentes características y motores de gran potencia se extendió por aéreas del litoral mediterráneo, y en las cuencas del Duero, Tajo y Guadalquivir, para su distribución por aspersión, goteo o gravedad (*Op. Cit.*, p.74).

En estos trabajos también se pueden encontrar numerosas referencias a las importantes implicaciones que tuvo la expansión de las superficies regadas en las zonas afectadas y, muy especialmente, a la estrecha conexión existente entre esta expansión y un amplio conjunto de cambios, que avanzaron así de forma integrada. El Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) en 1971 y la Ley de Reforma y Desarrollo Agrario de 1973 son ejemplos de todos estos cambios que se traducen en una importante expansión de la red.

Una búsqueda toponímica encaminada a identificar estaciones agrícolas o forestales nos indican claramente las motivaciones de su ubicación y funcionalidad: SEA (Servicio Español Agrícola), Cooperativa Agrícola, Cámara Agraria, Servicio de Plagas, Escuela de

Capacitación, Viveros, Azucarera, cinegético, forestal o ICONA son claros ejemplos que explican las razones de su instalación (Figura 19.7).

**Figura 19.7. Número de estaciones con denominación agrícola por periodos**

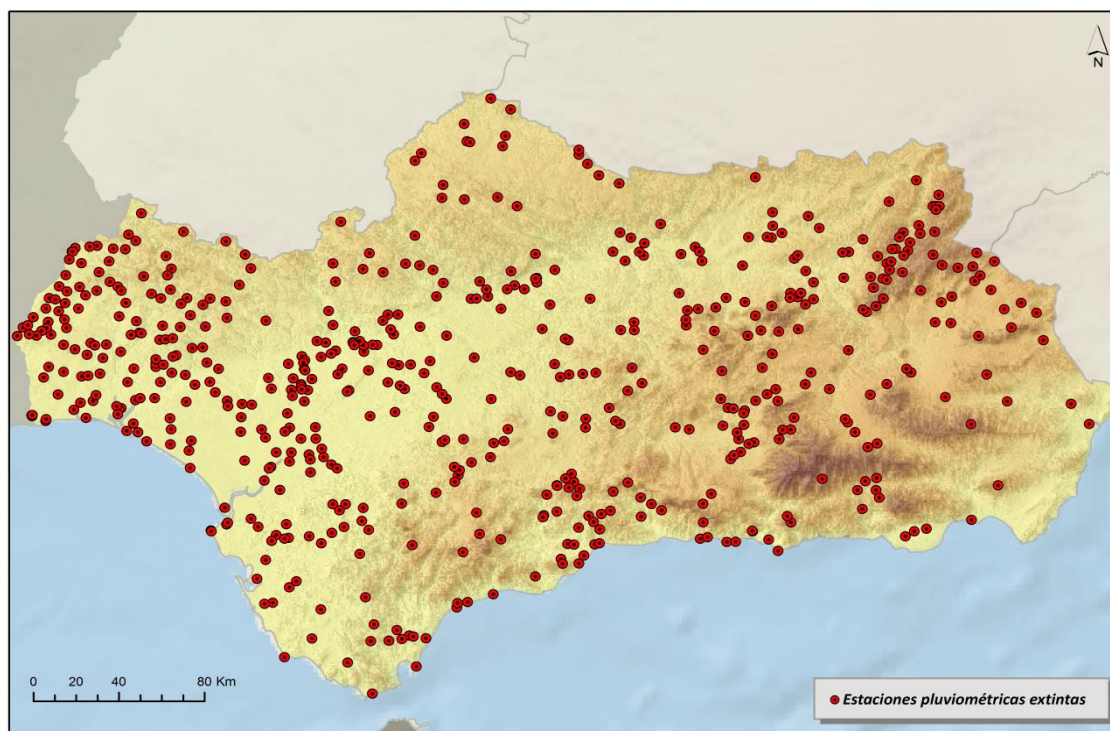


Fuente: Elaboración propia a partir de la información de estaciones pluviométricas de Aemet

¿Cuáles son las razones que determinan el deterioro de la red desde entonces? El cambio de una institución militar a civil parece ser una causa, quizás la organización y recursos humanos de los militares fuese más adecuada para el mantenimiento y control en la continuidad de las mediciones. Desgraciadamente la historia reciente de la meteorología y sus instituciones no cuenta con estudios que puedan explicar este deterioro. Otra de las causas es el cambio de reglamento que se produce en esta institución a partir de 1978 con el cambio de Ministerio.

A partir de mediados de los setenta comienzan a desaparecer muchas estaciones meteorológicas que aparecen representadas en la siguiente figura (Figura 20.7). Vemos como resulta especialmente grave en la provincia de Huelva, Sierra de Cazorla y Segura, sierra de María y las Estancias. Las pérdidas son generalizadas para todos los ámbitos y provincias, por lo que esta misma etapa de esplendor finaliza con un proceso de pérdida de observatorios que no consolida la extraordinaria densidad alcanzada en sus inicios.

Figura 20.7. Estaciones que cesan durante el periodo 1961-1985.



Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

El último periodo que analiza García de Pedraza y Jiménez de la Cuadra alcanza hasta 1985, sin que hagan mención a la Red de observación. Del mismo modo el reciente libro de Anduaga Egaña no extiende su estudio hasta el presente deteniéndose antes de la transición democrática en nuestro país. Precisamente este hecho nos resulta significativo ya que como citan los primeros autores hasta 1977 la “demanda meteorológica” no dejó de crecer, alentada en gran medida, no sólo por los avances y expansión de la aviación o la predicción, sino también porque los grandes proyectos franquistas requerían mucha información climática. Seguramente la caída del régimen franquista y el inicio de la democracia situaron las prioridades políticas y presupuestarias en otros ámbitos.

Podemos concluir que hasta este momento conviven tres tradiciones que establece en un estudio clásico sobre la ciencia del tiempo Nebeker: la actividad *empírica* de la climatología, la actividad *teórica* de la física atmosférica y la actividad *práctica* de la predicción del tiempo (Nebeker, 1995).

#### 7.2.2.5. Quinta etapa. Crisis y aparición de nuevas redes (1985-2012)

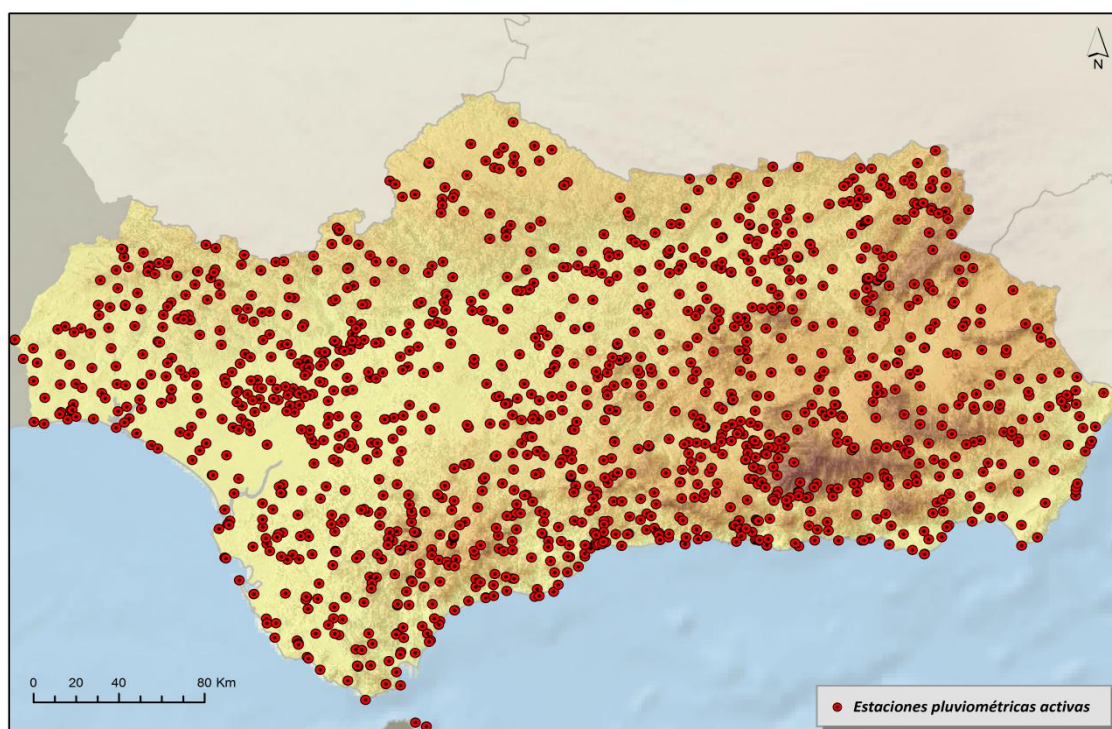
A partir de 1985 el número de observatorios desciende considerablemente situándose por debajo de los 800 los observatorios de la red de medición en Andalucía. Desde este momento se inicia la etapa que hemos denominado *crisis de la red de observación* ya que la pérdida de puntos de observación no cesa alcanzando un mínimo histórico en



2008 con 400 estaciones. Resulta preocupante que el número de estaciones no consiga estabilizarse en una cifra que garantice la cobertura pluviométrica espacial y temporal de Andalucía, algo que sería especialmente grave para las series históricas más largas de la región. El otro hito de este periodo es la aparición de nuevas redes gestionadas por diferentes administraciones autonómicas en respuesta a las nuevas necesidades de información climática.

En la siguiente figura (Figura 21.7) se representan las estaciones activas durante la etapa que analizamos donde resulta sobrecogedor el descenso, especialmente en el valle de Guadalquivir, toda Sierra Morena y la provincia de Cádiz. Hay que destacar que la vertiente mediterránea parece mantener una densidad mejor, especialmente la provincia de Málaga. Si lo comparamos con la siguiente figura donde se muestran las estaciones que cesan en este periodo el panorama es aún más desolador.

**Figura 21.7. Estaciones activas durante el periodo 1985-2012.**

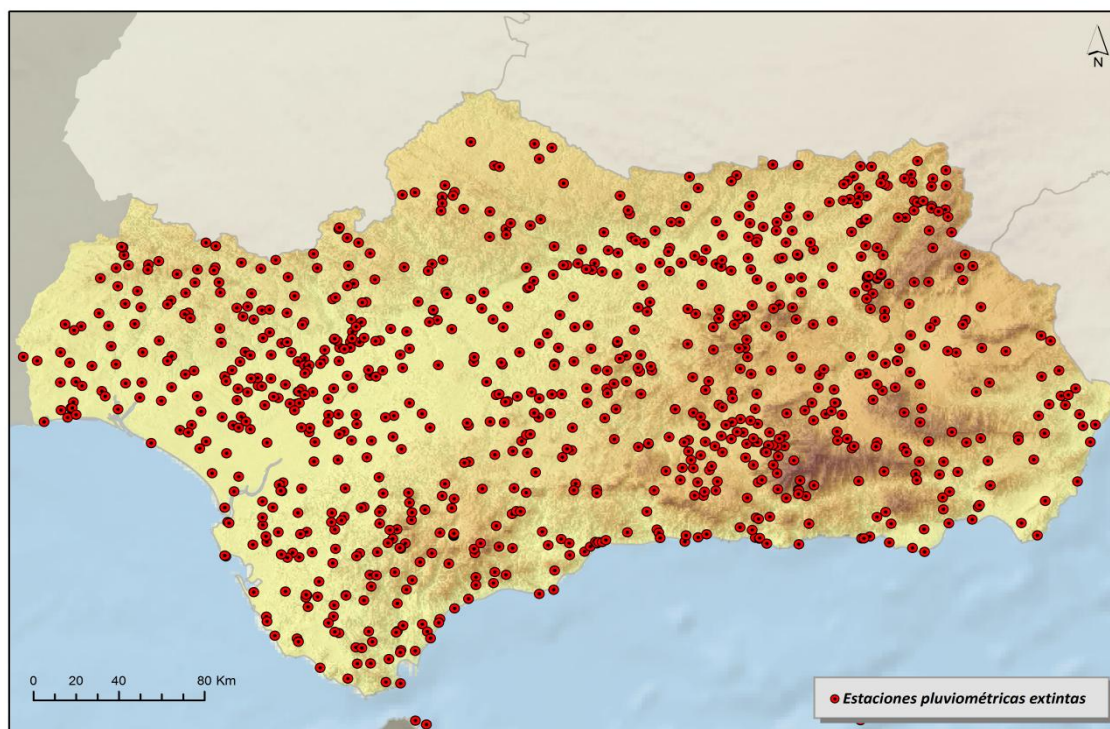


Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

La disminución desde mediados de los setenta no es única en Andalucía o España, como comenta New “en todos los casos el número de estaciones en los bancos de datos aumenta de manera constante desde principios del siglo XX hasta la década de 1970 momento en el que establecieron más estaciones, particularmente en los países en desarrollo. Desde la década de los setenta el número de estaciones se ha reducido debido a veces a las crecientes restricciones económicas, costes de mantenimiento o de publicación de los datos por parte de los organismos nacionales, hasta el punto que en un futuro cercano la información sobre la precipitación en muchas zonas será escasa” (New *et al.*, 2001).

En la siguiente figura (Figura 22.7) se representa las estaciones que desaparecen durante el último periodo que analizamos y que da la medida de la gravedad del deterioro de la red de información.

**Figura 22.7. Estaciones que cesan en el periodo 1985-2012.**



Fuente: Elaboración propia a partir del bando de precipitaciones depurado de AEMET.

Apuntamos a continuación seis posibles causas que pueden explicar el descenso de la red de observación (Figura 22.7). Sería necesario llevar a cabo estudios que profundicen en las razones del deterioro progresivo y la falta de inversiones institucional, precisamente en momentos en los que el cambio climático se vive como una amenaza real y la información climática es una necesidad requerida desde todos los sectores de la sociedad.

#### **a) Cambios políticos y reorganización del Servicio Meteorológico**

El paso del Servicio Meteorológico Nacional de una institución militar al Ministerio de Transporte en 1977 supuso un primer cambio de gran transcendencia. Hasta entonces la meteorología se había convertido en “el modelo de control social por las fuerzas armadas a través de la asimilación militar de los meteorólogos y la mitificación de un *Servicio nacional* sustentado en la victoria y que quería ser proyectado como paradigma de la postguerra” (Anduaga Egaña, 2012, p. 355). Quizás esto explique el mantenimiento durante todo este periodo del máximo número de observatorios activos y con series de gran calidad.

Posteriormente ya como Instituto Nacional de Meteorología ha continuado cambiando de dependencia ministerial, quedando asignado finalmente al Ministerio de Medio Ambiente y transformándose en Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en 2008.

### **b) Cambios tecnológicos y nuevos sistemas de medición**

A los cambios institucionales y de gestión se suma la revolución tecnológica que ha obligado a acometer, a partir de 1980, una renovación importante de la propia organización del Servicio (Palomares, 2012). Surgen nuevos instrumentos y posibilidades de medición remota con programas internacionales en los que participa España tales como el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (*World Climate Research Programme*) creado en 1980 bajo el patrocinio de la Organización Meteorológica Mundial (*WMO-World Meteorological Organization*) y de la Unión Científica Internacional (*ICSU-International Council for Science*).

A partir de 1985 el Centro Mundial de Climatología, que forma parte del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, procesa los datos mensuales y diarios de precipitación desde el Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT), así como de más de 140 organizaciones meteorológicas e hidrológicas en todo el mundo (New *et al.*, 2001). Quizás la confianza en que estos nuevos conjuntos de datos podían sustituir y facilitar la adquisición de información pluviométrica de las estaciones de superficie ha podido contribuir a la decadencia de las redes.

La existencia hoy de muchas fuentes combinadas de información sobre precipitaciones como las basadas en múltiples análisis globales (Adler *et al.*, 2003) o fusionados (Xie y Arkin, 1997), o las nuevas bases de datos globales (*gridded climate datasets*) que surgen (Tapiador *et al.*, 2012) como respuesta a la necesidad de series mundiales de precipitación con una cobertura global y mayor extensión temporal. Estas técnicas han sido diseñadas para explotar todas las fuentes de información disponibles ofreciendo los mejores resultados sobre la superficie terrestre. El intento de fusionar toda la información disponible como las estimaciones de infrarrojos (que comienzan en 1979 con los satélites de órbita polar y en 1986 con los satélites geoestacionarios) con estimaciones de microondas de sensores de órbita polar pasivos de más alta calidad que comienzan en 1987, en un intento de combinar los productos de satélites con indicadores de tierra para reducir los sesgos (Sapiano *et al.*, 2008).

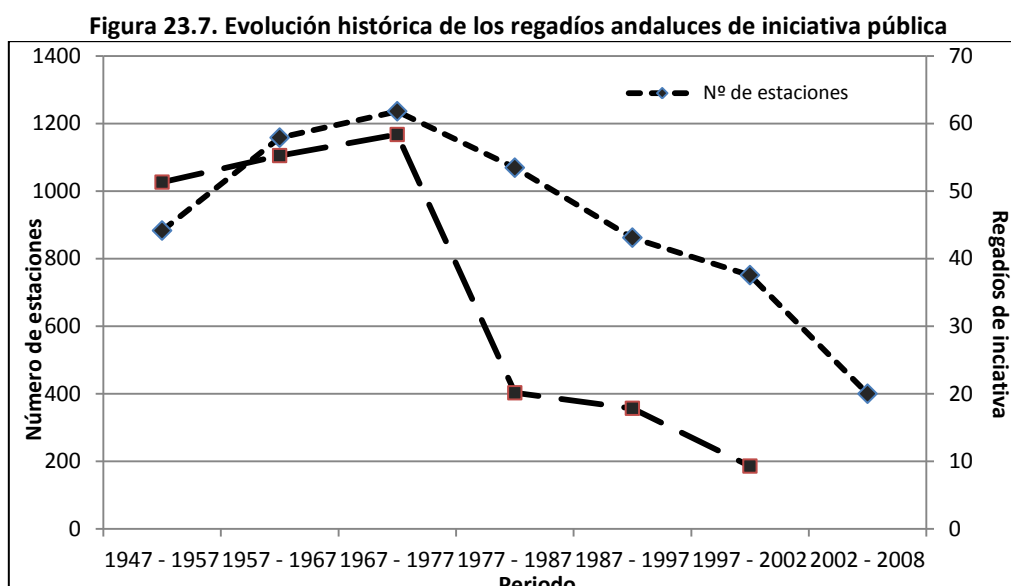
Este enfoque ha permitido obtener datos de precipitación basados en las fuentes disponibles más precisas, produciendo series largas de estimaciones. No obstante, como estos mismos autores comentan, estas series pueden presentar problemas y contener discontinuidades y heterogeneidades debido a causas tales como el uso de algoritmos que no son fijos en el tiempo, cambios en el número y tipo de sensores y

medidores disponibles. Todo ello puede afectar a su idoneidad en la investigación de los cambios a largo plazo de la precipitación global.

En los años ochenta, el decidido apoyo de las autoridades, impulsado por la experiencia de graves desastres por fenómenos meteorológicos, permitieron emprender una ambiciosa renovación tecnológica, con la implantación progresiva de equipos de recepción de satélite; el primero se había instalado en 1968, las estaciones automáticas en 1983, los radares meteorológicos desde 1990 y una red de descargas eléctricas, en 1992 (Palomares, 2012).

### c) Cambios en la agricultura

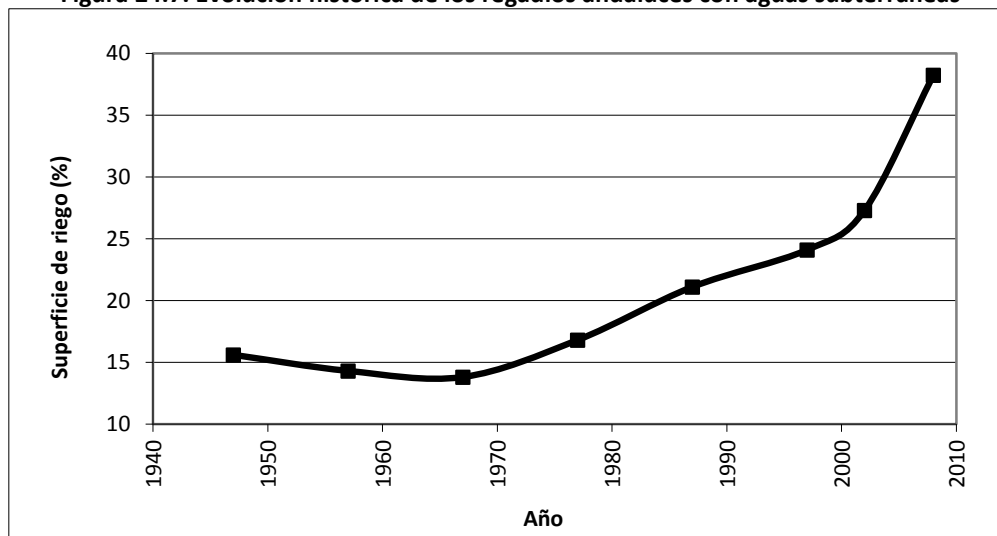
El crecimiento del regadío y la construcción de obras hidráulicas, al que asociamos la expansión de la red de información pluviométrica habían sido financiados mayoritariamente con fondos públicos. A partir de 1977, como se puede apreciar en las siguientes figuras (Figura 23.7 y 24.7), el descenso de inversión pública en los regadíos va paralelo a la disminución del número de estaciones pluviométricas, al mismo tiempo que se va produciendo el aumento progresivo de los regadíos alimentados por aguas subterráneas y mayoritariamente privados.



Fuente: Elaboración propia a partir del *Inventario de regadíos en 2008 y su evolución en la última década* (<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca>).



Figura 24.7. Evolución histórica de los regadíos andaluces con aguas subterráneas



Fuente: *Inventario de regadíos en 2008 y su evolución en la última década* (<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca>).

Puesto que la tendencia hacia un progresivo descenso de los puntos de medición en superficie no tiene un carácter local, sino que se aprecia en la evolución general que experimentan las redes de observación de muchos países, nos hace pensar que su origen radica en las transformaciones que se producen a nivel mundial en la agricultura y en la sociedad desde los años setenta.

La precariedad en la financiación provocó una excesiva dependencia de la buena voluntad de los observadores no profesionales, en que se apoyó la meteorología española durante decenios (Carreras y Tafunell, 2005). Hay que destacar que muchas estaciones han sido abandonadas y que un número muy elevado de las que se han establecido a lo largo de la historia de la red española en muchos lugares sólo han registrado menos de un mes de observación (aproximadamente 10.000) (González-Hidalgo *et al.*, 2011).

#### d) Diversificación de funciones

Desde mediados del siglo XX, las actividades se centraron mayoritariamente en las necesidades de la aviación para, posteriormente, extenderse a nuevos campos como la protección civil o el tráfico terrestre y marítimo, que propiciaron una importante expansión del Servicio Meteorológico.

Los últimos 25 años se han caracterizado por la profunda renovación que supusieron los grandes avances técnicos en la observación y la predicción meteorológica debidos a los satélites y radares, la mejora de los modelos meteorológicos, la mayor capacidad de los ordenadores, y la revolución en las comunicaciones que caracteriza a la moderna sociedad de la información.

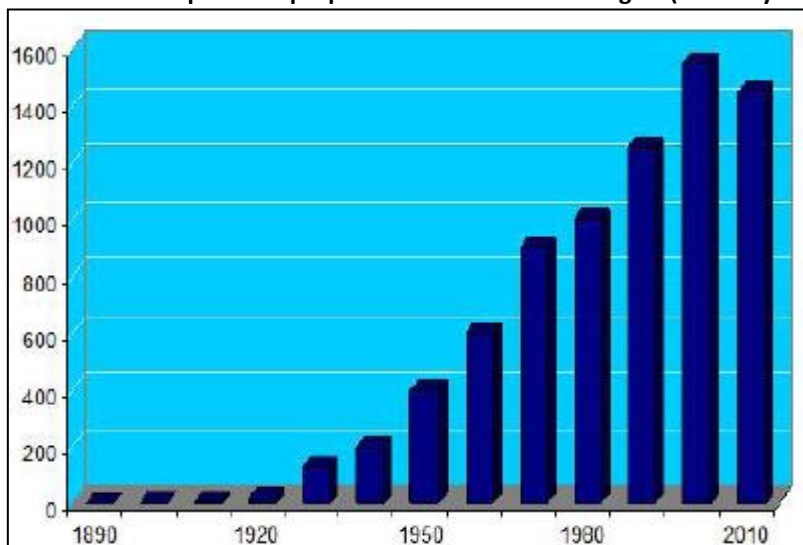
En todos estos años el Servicio Meteorológico ha diversificado los productos y servicios que ofrece al público, además del apoyo a las políticas públicas y a las actividades privadas. Se inician los partes meteorológicos televisados, el denominado *teletiempo* y en 1996 se crea la página de la Agencia en Internet para facilitar la información sobre fenómenos meteorológicos adversos, predicciones diversas, certificados e informes, etc. Para desarrollar sus actividades la Agencia cuenta con una plantilla de más de 1.400 personas distribuidas entre las distintas dependencias, oficinas y observatorios de las 17 Delegaciones Territoriales así como en la Sede Central de Madrid. El mantenimiento óptimo de una red de tal envergadura requiere voluntad política y un presupuesto adecuado a la complejidad y diversidad de sus competencias.

### e) Dificultades económicas y de personal

La red siguió expandiéndose por toda la geografía nacional durante la segunda mitad del siglo XX basada en una red de observadores voluntarios que llevaban a cabo la recopilación de las observaciones. La atención a los colaboradores constituyó una tarea para la Sección de Climatología del Servicio Meteorológico y las delegaciones regionales. Desde entonces, se ha experimentado una disminución progresiva en los últimos años debida a los cambios en las formas de vida rural y en la sociedad en general.

Por otro lado, tal como explica M. Palomares “otra novedad del último cuarto de siglo fue la creación del cuerpo de Observadores en 1974. Con el aumento de aeropuertos y tráfico aéreo el Servicio había dependido durante muchos años de observadores militares o contratados por Aviación Civil, pero desde entonces el personal del nuevo cuerpo, con una formación de alto nivel en las técnicas modernas, ha ido asumiendo todas las labores básicas” (Palomares, 2012) (Figura 25.7).

Figura 25.7. Evolución del personal propio del Servicio meteorológico (laboral y funcionarios)



Fuente: Palomares (2012)

Las necesidades de especialización debidas a la revolución tecnológica, al uso de los satélites y otro tipo de sensores han sido prioritarias, quedando la red secundaria y terciaria de observación en un segundo plano. Los observadores civiles, personas que de forma casi altruista aún toman las observaciones diariamente están muy alejados del cuerpo de funcionarios especializados y las nuevas tecnologías.

Por la experiencia y las declaraciones personales de la AEMET, las series de datos se extinguen con sus observadores, algo que hemos constatado en la visita a numerosos observatorios de la red andaluza. Hoy en día resulta difícil encontrar personas que voluntaria y altruistamente desempeñen esta labor constante sin posibilidad de ser remuneradas razonablemente. Ante esta situación parece que la única solución que se adopta es el abandono de las estaciones o su sustitución por estaciones automáticas que han intentado paliar, parcialmente, esa disminución de los colaboradores.

El presupuesto para dotar de los recursos económicos necesarios para el mantenimiento de la red básica, según los requerimientos actuales, está muy alejado de la realidad de deterioro de la red tradicional. Hay que resaltar que las nuevas Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) de la AEMET no proporcionan datos continuos, por lo que no consiguen compensar la pérdida de información en la red tradicional. La crisis y los recortes presupuestarios que se traducen en falta de personal para llevar a cabo la labor de seguimiento y control de calidad de estas estaciones recrudece el panorama actual.

El valiosísimo patrimonio histórico de recogida de datos en el territorio español sufre un progresivo deterioro frente a la creciente demanda de información climatológica por parte de la sociedad. La situación se hace más crítica si consideramos la necesidad científica de disponer de series históricas homogéneas, a escala regional, que permitan realizar estudios sobre el cambio climático por parte de las administraciones públicas para labores de seguimiento y políticas de actuación.

En el contexto de la crisis económica actual es probable que esta situación no mejore, incluso que continúe empeorando, y por consiguiente, disminuyendo la información disponible y la calidad de la misma. No sabemos cómo esto afectará a los futuros procesos de estimación y gestión, máxime cuando la gran mayoría de estaciones cerradas se encuentran principalmente en zonas rurales y montañosas, estas últimas especialmente vulnerables a los efectos del cambio global.

#### **f) Nuevas redes de medición meteorológica**

Ante la creciente diversidad de servicios y demandas de información climática surgieron, a partir de mediados de los años noventa, nuevas redes de medición meteorológica destinadas a cubrir sectores y necesidades específicas. Al inicio de la

década de los 90, se pone en marcha el Servicio Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H.) creado para aprovechar las potencialidades ofrecidas por las telecomunicaciones para instalar estaciones que permitieran suministrar información automáticamente y en tiempo real, sobre las variables climáticas hidrológicas y el estado de las infraestructuras hidráulicas más significativas.

Ante las necesidades específicas en materia de política ambiental, agrícola etc. se suministra, a nivel nacional, información muy especializada que ha requerido la instalación de redes diseñadas para cubrir estas necesidades de información. En el caso de Andalucía, desde diferentes Consejerías de la administración autonómica de la Junta de Andalucía se ha promovido la creación de diversas redes de medición.

La Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural mantiene dos redes de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs): RIA (Red de Información Agroclimática de Andalucía) y RAIF (Red de Alerta e Información Fitosanitaria). Un total de 205 estaciones dotadas de sensores electrónicos, estratégicamente ubicadas en zonas rurales, proporcionan la información necesaria para el control de plagas, enfermedades y para las necesidades de agua de los cultivos. Estas redes ofrecen una información meteorológica de calidad que abarca la mayor parte de la superficie regada de Andalucía, y que han sido pioneras en España; desde 1996 ofrecen de forma actualizada, información del estado fitosanitario de los principales cultivos de Andalucía, estando disponible toda la información a través de la página web de la Consejería de Agricultura, lo que supone una diferencia muy significativa, ya que la mayoría de la información climática en España no es de libre acceso (<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/raif>).

A pesar de que estas redes son públicas, su gestión y mantenimiento es independiente y no existe una coordinación entre ellas ni con la AEMET; se pierde así la posibilidad de lograr una optimización de la red global de medición, evitándose duplicidades y solapamientos innecesarios e incluso *salvar* algunas estaciones tradicionales cofinanciando su mantenimiento.

En este sentido la iniciativa de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía de crear el Subsistema de Información Climatológica (CLIMA), ha conseguido superar esta fragmentación. Este programa, formado por una extensa red de estaciones meteorológicas pertenecientes a diferentes organismos, ha logrado mediante una aplicación informática la integración de todos estos datos sometiéndolos a un control de calidad y permitiendo su explotación conjunta. La puesta en marcha del CLIMA forma parte de las políticas de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para dar respuesta a las necesidades creadas tras la adopción en Andalucía de una Estrategia Autonómica ante el Cambio Climático y la

progresiva implantación de una Red de Información Ambiental en Andalucía (REDIAM). La REDIAM aúna los esfuerzos de diversos centros productores y usuarios de información medioambiental que engloba organismos de la administración, universidades y centros de investigación (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/>).

Esta iniciativa pionera supone un paso adelante en la gestión integrada de las redes de observación climática de un valor incalculable. No obstante, el funcionamiento de las diferentes redes integradas sigue siendo independiente y su mantenimiento básico muy desigual. Sería necesario que esta visión integrada, que supone un esfuerzo institucional y un ejemplo de superación política y administrativa en su coordinación, pudiese completarse con medidas cuyo alcance permitiera llegar, a un mantenimiento básico. Esto permitiría una gestión óptima del conjunto de estaciones que integran estas redes lo que redundaría en la mejora del funcionamiento de este bien público de alto valor patrimonial y económico.

### **7.3. Las redes actuales de observación pluviométrica en Andalucía**

En Andalucía existen multitud de redes de observación climática en general y pluviométrica en particular. Sin ánimo de ser exhaustivos (entre otras cosas, porque gran parte de las redes existentes tienen carácter privado y muchas de ellas escaso recubrimiento espacial), repasaremos en este apartado las principales redes de observación climática que proporcionan información pluviométrica relevante relativa al territorio andaluz, con vocación regional (existen muchas redes de carácter local que no mencionaremos aquí). Por fortuna, en Andalucía se ha realizado ya un notable esfuerzo por facilitar el acceso a la información climática procedente de diferentes fuentes a través del Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA), y por ello empezaremos describiéndolo para posteriormente hacer un inventario de las redes de observación pluviométrica a las que permite acceder, y finalmente, mencionaremos algunas otras redes que pueden resultar de interés para nuestros objetivos y que no están incluidas en él, y algunos ejemplos de redes locales. Hay que aclarar que este repaso a las redes de observación pluviométrica actualmente en funcionamiento en Andalucía, se realizará a partir de los datos proporcionados por los gestores de dichas redes, de forma general, sin tener en cuenta si la totalidad de la red se encuentra en funcionamiento en un momento concreto y sin evaluar en este momento la calidad ni la continuidad de las series de datos proporcionadas por ellas.

### 7.3.1. Introducción: el subsistema CLIMA

La principal fuente de información climática en Andalucía es el Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA) (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015a), incluido dentro de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), creada por Ley /2007 de 9 de julio de Gestión Integrada de Calidad Ambiental (Comunidad Autónoma de Andalucía, 2007) cuyo objeto es “**la integración, normalización y difusión de toda la información sobre el medio ambiente andaluz** generada por todo tipo de centros productores de información ambiental en la Comunidad Autónoma” (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015b).

Esta red pretende aunar los esfuerzos de diversos centros productores y usuarios de información medioambiental, desde organismos de la administración hasta universidades y centros de investigación. La REDIAM tiene sus antecedentes en el SinambA (Sistema Ambiental de Andalucía), un instrumento fundamental para evaluar y gestionar los recursos naturales de la región, que ya en los años 80 del siglo XX estaba basado en el empleo de un sistema de información geográfica en el que se insertaba la información georreferenciada alusiva al medio natural, y en el empleo de la teledetección como fuente adicional de información respecto a las fuentes tradicionales, que son básicamente fuentes cartográficas (Pita López *et al.*, 2002).

Desde 1984, la Administración Ambiental de la Junta de Andalucía empezó a trabajar en la recolección, coordinación y puesta en coherencia de la información sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Este programa SinambA se convierte en su núcleo tecnológico normalizador en cuanto a bases de referencia, metadatos, estructuración, etc. Este programa ha permitido establecer la información básica sobre la que se apoya la toma de decisiones y la planificación ambiental de la Comunidad Autónoma, integrando todos los esfuerzos de creación de información espacializada relativa al medio ambiente que se generan tanto en la Consejería de Medio Ambiente, como en otros Departamentos relacionados, directa o indirectamente, con aspectos ambientales (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015).

Sin embargo, a pesar de que en esos momentos se disponía ya de una abundante cantidad de información que cubría todo el espacio regional sobre la mayor parte de las variables del medio físico, no ocurría igual con las variables de naturaleza climática, las cuales, a pesar de su importancia ambiental, apenas estaban integradas en el SinambA. Este hecho hace que se ponga en marcha un acuerdo específico entre el Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional de la Universidad de Sevilla y la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (C.M.A.) para el

desarrollo del trabajo “Diseño de una metodología de espacialización de variables climáticas, estructuración de bases de datos de clima y obtención de indicadores ambientales” firmado en Diciembre de 1995.

Basado en este trabajo, se pone en marcha la creación del CLIMA, que forma parte del esfuerzo realizado por la Dirección General de Planificación de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para dar respuesta a las necesidades creadas tras la adopción en Andalucía de una Estrategia Autonómica ante el Cambio Climático y la progresiva constitución de la Red de Información Ambiental en Andalucía (REDIAM). El primer objetivo de este subsistema era la puesta a punto de un banco de datos climáticos con estructura homogénea y con una calidad suficiente como para servir de base a estudios climáticos posteriores.

En la página web de la CMA se incluye la siguiente descripción: “el Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA) está formado por una extensa red de estaciones meteorológicas pertenecientes a diferentes organismos y la aplicación informática que permite la integración de los datos, el control de la calidad de los mismos, y su explotación conjunta. El objetivo fundamental del CLIMA es la homogeneización de los datos de las estaciones meteorológicas de manera que éstos sean una fuente segura y fiable para el estudio de las diversas variables meteorológicas y para la elaboración de estudios de índole climática sobre la comunidad andaluza, como pueden ser la obtención de indicadores ambientales que evalúen el estado del medio ambiente y, sobre todo, los posibles impactos y consecuencias del fenómeno del cambio climático en la región.” (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015c).

La implementación de herramientas de análisis espacial permite ofrecer, además, mapas que representan la información espacializada de las variables climáticas, de manera que sea posible disponer de esa información para todo el territorio, a partir de los datos de las estaciones meteorológicas, puntuales por naturaleza. Por último, también es un objetivo de este subsistema la obtención de indicadores climático-ambientales que permitan la evaluación de los recursos naturales de la región y mejorar su gestión.

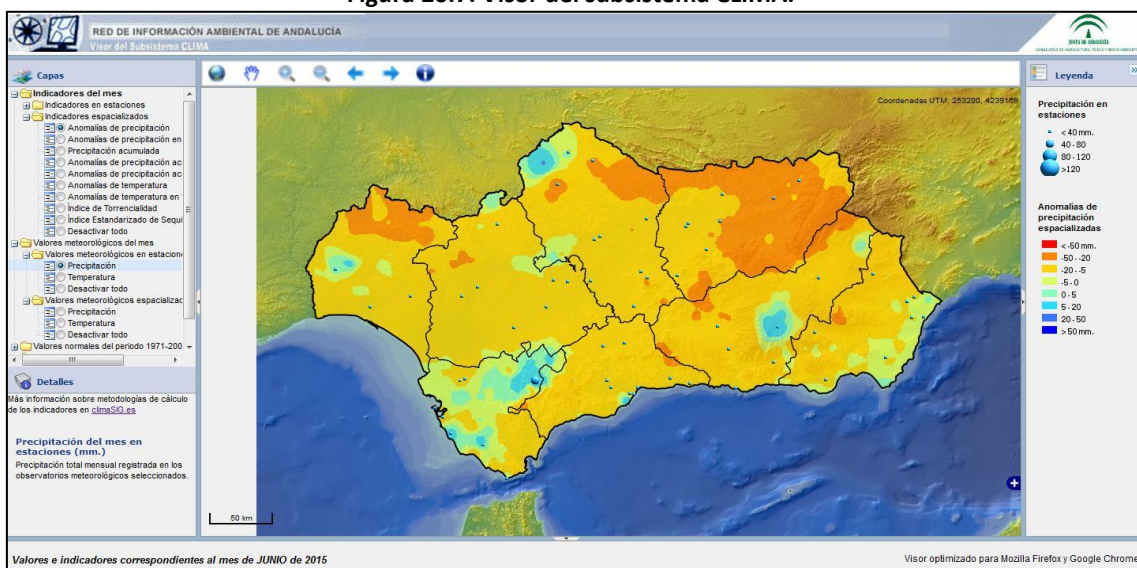
Actualmente el subsistema CLIMA puede consultarse a varios niveles (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015d):

- Consulta básica, abierta a todos los usuarios, con un acceso limitado a la información (solamente datos de algunas de las variables observadas en las estaciones meteorológicas de la Junta de Andalucía y con periodicidad máxima diaria).

- Consulta avanzada, “de acceso restringido a personas que realizan trabajos para la Junta de Andalucía. Permite consultar los contenidos anteriores, así como los datos de las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología. La autorización para ser registrado como usuario avanzado debe solicitarse a la Dirección General de Desarrollo Sostenible e Información Ambiental” (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015d). El acceso a esta consulta avanzada requiere ese registro previo, que proporcionará un nombre de usuario y una contraseña personal.
- También está disponible una consulta semi-avanzada, que permite el acceso a todas las variables y series de datos (incluso a una escala intradiaria) de las estaciones dependientes de la Junta de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente y Consejería de Agricultura y Pesca), y que no requiere registro, ya que puede realizarse utilizando como nombre de usuario y como contraseña la palabra "usuario", siguiendo las indicaciones de la página de consultas de Subsistema CLIMA (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015d).

Asimismo, el subsistema CLIMA dispone de un Visor cartográfico (Figura 26.7) en el que se puede consultar la información climática sobre una base cartográfica: datos mensuales de precipitación y temperatura, valores mensuales normales de precipitación y temperatura para el periodo 1971-2000 e indicadores climáticos como anomalías mensuales de precipitación y temperatura, índice de torrencialidad o índice estandarizado de sequía, tanto por estaciones meteorológicas como especializado para todo el territorio andaluz (REDIAM, 2015).

Figura 26.7. Visor del subsistema CLIMA.



Fuente: REDIAM, 2015.



No entraremos aquí en una descripción exhaustiva del CLIM porque excede los objetivos del presente trabajo, a pesar de su evidente utilidad y del gran avance que ha supuesto para la utilización de los datos climáticos en todo tipo de aplicaciones en Andalucía; la información básica sobre sus características se encuentra accesible desde la página web de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015e).

Para la descripción de las redes de observación pluviométrica en Andalucía, que es el objetivo de este apartado, mencionaremos en primer lugar las redes incluidas en este subsistema, y posteriormente comentaremos algunas otras redes no incluidas en él.

Tal como aparecen en la presentación del subsistema en la página web de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015f), las principales redes de observatorios meteorológicos integradas en el CLIMA son las que aparecen en la Tabla 4.7, ordenadas en función del organismo que las gestiona.

A la hora de presentar los datos básicos de estas redes de observación, nos hemos encontrado con el problema de que, en función de la fuente consultada, los datos relativos al número y ubicación de las estaciones que las forman difieren (a veces se dan discrepancias incluso en datos procedente de la misma fuente, como es el caso de las tablas y la cartografía proporcionada por la Consejería de Medio Ambiente en su página web (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g)). La causa principal es la evolución natural de la red de observación, que cambia a medida que pasa el tiempo ya que, por una parte, algunas estaciones suspenden su funcionamiento por cuestiones técnicas o desaparecen definitivamente por motivos organizativos o de otro tipo, mientras que se instalan estaciones nuevas, fundamentalmente de tipo automático, para responder a nuevas necesidades (diseño de nuevas redes con objetivos específicos) o para sustituir a las que van desapareciendo. Por otra parte, estas estadísticas resumen se hacen a veces con criterios diferentes: algunas registran solamente las estaciones activas (es decir, en funcionamiento) en un periodo temporal determinado, mientras que otras se refieren a las estaciones que pueden proporcionar datos históricos. Para ilustrar esta cuestión, en la Tabla 4.7 se incluyen tanto los datos proporcionados por la Consejería de Medio Ambiente en la presentación del subsistema CLIMA como los publicados en el Informe de Medio Ambiente del año 2014, que recoge las estaciones meteorológicas activas en el año 2013.

**Tabla 4.7. Principales redes de observación meteorológica integradas en el CLIMA.**

Organismo	Red	Tipo	Número de estaciones	
			Según la presentación del subsistema CLIMA	Activas en 2013
Agencia Estatal de Meteorología (AEMet)	Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (E.M.A.)	Automáticas	42	160
	Red de Estaciones Principales	Semiautomáticas	28	22
	Red de Estaciones Secundarias	Manuales	1914	457
Consejería de Agricultura y Pesca (C.A.P.)	Red de Información Agroclimática (R.I.A.)	Automáticas	89	107
	Red de Alerta e Información Fitosanitaria (R.A.I.F.)	Automáticas	81	89
Consejería de Medio Ambiente (C.M.A.)	Red de vigilancia de la calidad del aire (SIVA)	Automáticas	43	52
	Red de lucha contra los incendios forestales (INFOCA), red EARM	Automáticas	32	25
<b>Total</b>		Automáticas	315	455
		Manuales	1914	457

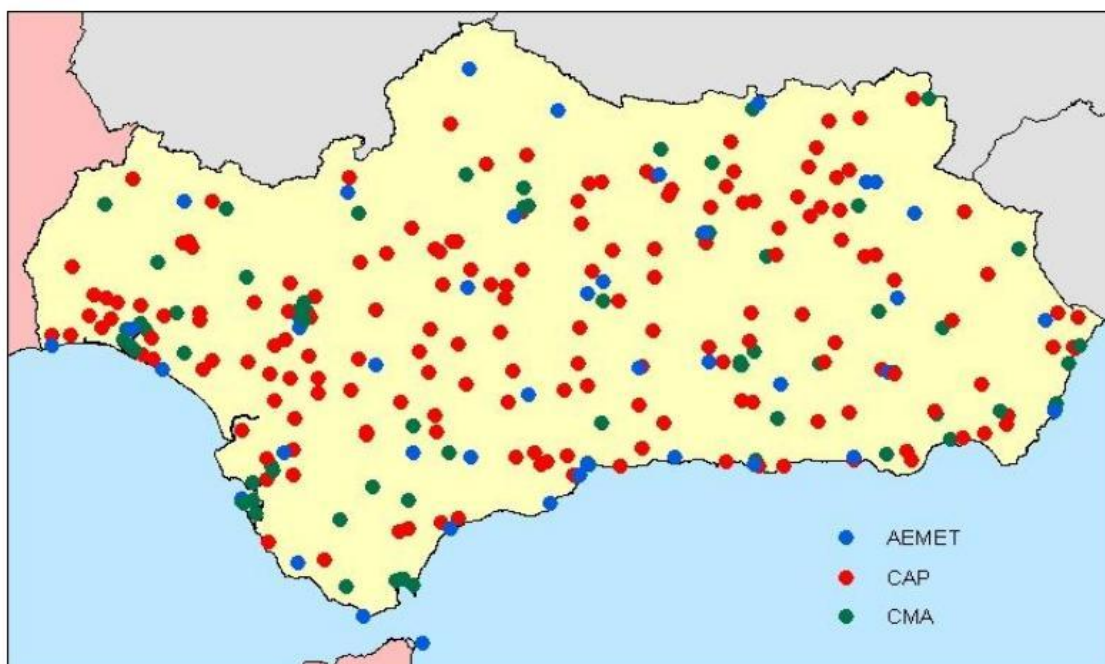
Fuentes: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015f y 2015h.

Como se deduce de la Tabla 4.7, en Andalucía gran parte de las estaciones meteorológicas son **manuales**, es decir, la información adquirida por su instrumental debe ser registrada manualmente por un operador. Su elevado número (al menos históricamente) se explica por el bajo coste de estas infraestructuras, dado el carácter básico de la tecnología empleada, y por su larga historia, ya que las primeras se instalaron a finales del siglo XIX, aunque ya se ha comentado al tratar la evolución histórica de la red de observación, que desde 1980 la red ha ido reduciéndose.

La red de estaciones automáticas tiene registros muy recientes y sobre todo, es de menor densidad si la comparamos con la red de estaciones manuales, que en Andalucía es bastante amplia (aunque el número de estaciones activas haya ido disminuyendo progresivamente en los últimos años) y lleva implantada desde hace muchos años, por lo que posee un amplio (en sentido espacial y temporal) registro de observaciones meteorológicas. Las primeras estaciones automáticas se instalan en Andalucía a finales de los años ochenta (1988) por parte del entonces Instituto Nacional de Meteorología. A partir de entonces el número no cesa de crecer al instalar diferentes Consejerías de la Junta de Andalucía, y las entonces Confederaciones Hidrográficas, sus propias redes automáticas de observación meteorológica.

En la Figura 27.7 se muestra la distribución espacial sobre el territorio andaluz de la red de estaciones automáticas integradas en el CLIMA, identificadas según el organismo del que dependen (AEMET, Consejería de Agricultura y Pesca o Consejería de Medio Ambiente), tal como la proporciona la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio en su página web en la presentación del subsistema CLIMA. En ella se observa que, pese a que su número (315) podría considerarse *a priori* suficiente para una buena representación de todo el territorio andaluz, las estaciones no se encuentran homogéneamente distribuidas. En determinadas zonas se aprecia una concentración elevada de estaciones meteorológicas, como es el caso de las ciudades de Huelva, Cádiz, Sevilla y Córdoba, en las que se aglutinan gran parte de las estaciones dependientes de la Consejería de Medio Ambiente, de indudable utilidad para el seguimiento de la calidad del aire de las zonas más contaminadas, añadiéndose a las gestionadas por otros organismos; todo esto se traduce en la existencia de información redundante y por tanto, en un mal aprovechamiento de los recursos disponibles. Quedan como zonas menos representadas por la red de estaciones automáticas, Sierra Morena y la zona oriental de la Comunidad. También destacan algunos otros vacíos significativos, como la zona de La Janda y la Campiña de Jerez, Sierra Mágina o la Serranía de Ronda. A partir de la observación de este mapa, es evidente la necesidad de racionalizar la red de observación, estableciendo mecanismos de coordinación entre los diferentes organismos, incluso dependientes de la misma administración como es el caso de las Consejerías de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio y de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.

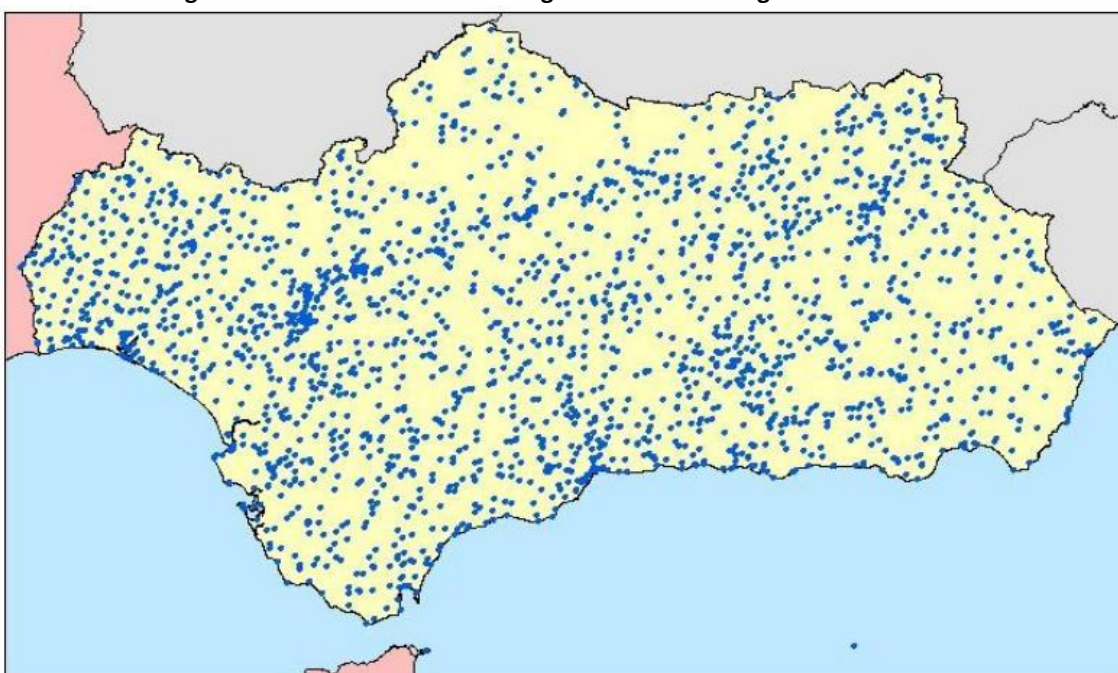
Figura 27.7. Estaciones meteorológicas automáticas integradas en el CLIMA



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2105f.

La distribución espacial de las estaciones meteorológicas manuales integradas en el subsistema CLIMA (en este caso, todas dependientes de la AEMET) se muestra en la Figura 28.7. Como puede observarse en relación con la red de estaciones automáticas, su mayor número permite una más completa representación de todo el territorio andaluz, aunque se siguen observando grandes diferencias en cuanto a su densidad; las estaciones de observación se concentran en determinadas zonas, como las áreas metropolitanas de Huelva, Sevilla y Málaga o la Vega del Guadalquivir, mientras que dejan vacíos evidentes en determinadas comarcas, como Sierra Nevada en Granada y Sierra Morena en Córdoba (aunque especialmente en el Valle del Guadiato y Los Pedroches)

**Figura 28.7. Estaciones meteorológicas manuales integradas en el CLIMA**



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015f.

Describiremos ahora las redes de observación pluviométrica en Andalucía con más detalle, organizándolas en función del organismo responsable de su gestión. Empezaremos por las redes financiadas y gestionadas por diferentes administraciones públicas, tanto a nivel estatal como autonómico, cuyo fin principal es la generación de información básica para la gestión y servicio público. Son las redes de medición más antiguas y consolidadas, con un número elevado de estaciones que se configuran según los fines particulares que desde sus inicios, han motivado la creación de cada una de ellas. Iremos describiendo, brevemente, cada una de estas redes de observación: en primer lugar las de la AEMET y a continuación las gestionadas por la Junta de Andalucía a través de alguna de sus Consejerías u otros organismos. Para finalizar, comentaremos la red que forma el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), algunas de centros de investigación y otras privadas.

### 7.3.2. Las redes de la Agencia Estatal de Meteorología

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) dispone de una extensa red de observatorios que ha registrado datos, como en el caso de Córdoba, desde el siglo XIX. Esta red ha sido diseñada específicamente para la realización de estudios meteorológicos y climáticos, lo que explica su densidad, su buena distribución espacial por el territorio andaluz y su larga serie de observaciones. Existe un Convenio de Colaboración entre el Instituto Nacional de Meteorología y la Consejería de Medio Ambiente para el intercambio de datos de las diferentes redes de observación, lo que explica la posibilidad de acceso a esta información desde el subsistema CLIMA, que ya se ha mencionado (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g).

Las estaciones meteorológicas dependientes de la AEMET en Andalucía se agrupan en tres redes de observación, diferenciadas en función del número de variables observadas y el carácter automático o manual de las mediciones:

- Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) que ofrece datos de viento (dirección, velocidad, racha máxima, dirección de la racha máxima y hora de la racha máxima), humedad relativa (horaria, máximos y mínimos diarios, hora de los máximos y mínimos diarios), temperatura (horaria, del punto de rocío, media del termómetro húmedo y seco, máximas y mínimas diarias y hora), precipitación (horaria, total diaria, intensidad de la precipitación máxima en varios intervalos de tiempo) y presión atmosférica (horaria, máxima y mínima diaria y hora).
- Red de Estaciones Principales, que combinan sistemas manuales y automáticos y registran variables como precipitación (total diaria), temperatura (máxima y mínima diaria), insolación y viento (dirección dominante).
- Red de Estaciones Secundarias, exclusivamente manuales, en las que se recogen datos de temperatura del aire (máxima y mínima diaria) y/o precipitación (total diaria).

Dado que ya se dedica un capítulo específico en esta tesis a analizar la evolución de esta red (capítulo 8.2), nos limitaremos en este apartado a aportar algunos datos básicos de la red de estaciones de la AEMET a la que se puede acceder a través del subsistema CLIMA.

### 7.3.2.1. Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA)

Según el Informe de Medio Ambiente en Andalucía del año 2014, durante el año 2013 funcionaban en Andalucía 160 estaciones automáticas de la AEMET, con una distribución por provincias (Tabla 5.7) bastante igualitaria con excepción de la provincia de Málaga, en la que se concentran bastante más estaciones (32, el doble que en Jaén, que es la provincia con menor densidad de este tipo de estaciones, con sólo 1.2 estaciones por cada 1000 km<sup>2</sup> frente a las 4.4 de Málaga).

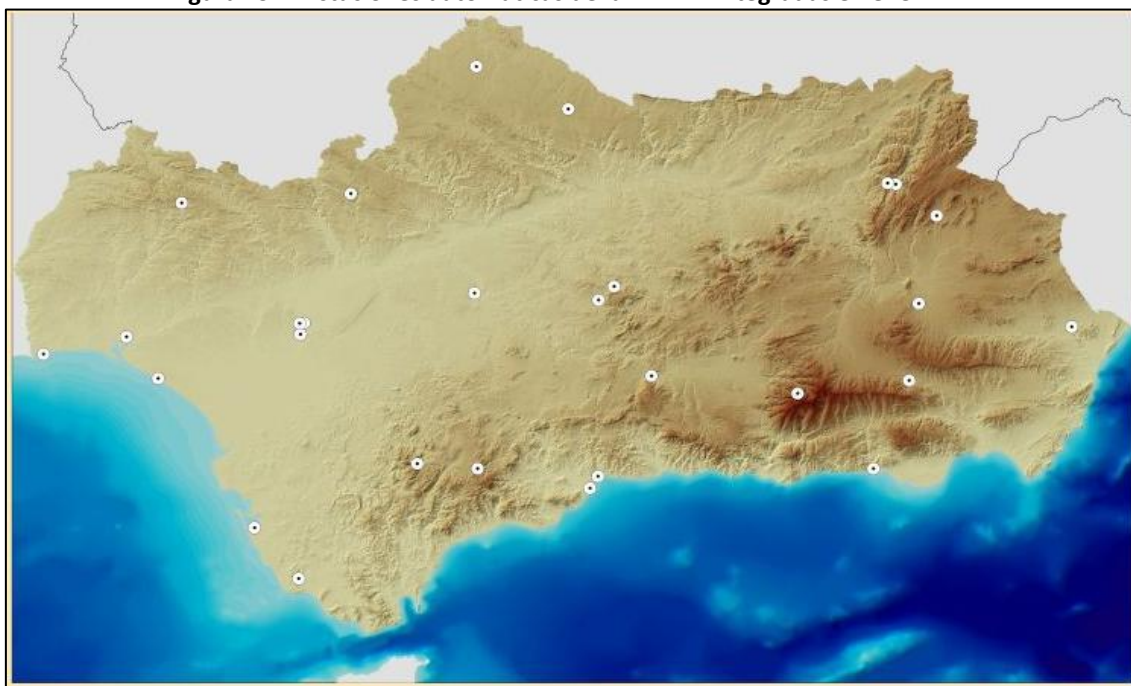
**Tabla 5.7. Estaciones automáticas de la AEMET (activas en 2013) por provincias.**

Provincia	AEMet Automáticas
Almería	18
Cádiz	18
Córdoba	19
Granada	17
Huelva	19
Jaén	16
Málaga	32
Sevilla	21
<b>Andalucía</b>	<b>160</b>

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h.

En cuanto a la distribución espacial de las estaciones de esta red, la información que proporciona la Consejería de Medio Ambiente en la presentación del Subsistema CLIMA se muestra en la Figura 29.7, aunque es evidente que en este mapa no aparecen representadas todas las estaciones activas en 2013.

**Figura 29.7. Estaciones automáticas de la AEMET integradas en el CLIMA**



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g.



### 7.3.2.2. Red de Estaciones Principales

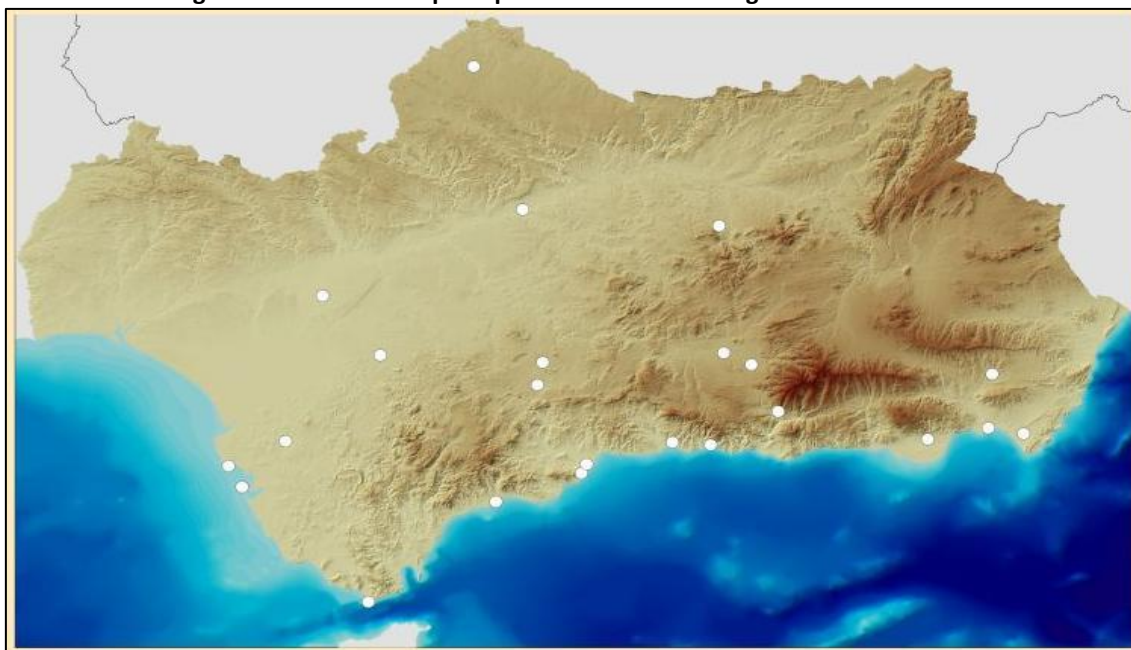
Según la fuente ya mencionada (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h), durante el año 2013 estaban activas en Andalucía 22 estaciones pertenecientes a esta red, con una elevada concentración en la provincia de Málaga frente a las demás (Tabla 6.7); en este caso concreto, la densidad de estaciones en la provincia de Málaga es de 1,37 estaciones por cada 1000 km<sup>2</sup>, mientras que la provincia que la sigue, que es Cádiz, presenta un valor de sólo 0,4. Probablemente, las causas de esta gran desigualdad se puedan interpretar a partir del análisis evolutivo de esta red que se ha hecho en el capítulo 8.2. Al igual que en el caso de las estaciones automáticas, el mapa de la distribución espacial que ofrece el Subsistema CLIMA no parece estar actualizado, ya que no coincide con los datos que estamos comentando (Figura 30.7).

**Tabla 6.7. Estaciones principales de la AEMET (activas en 2013) por provincias.**

Provincia	AEMet Principales
Almería	1
Cádiz	3
Córdoba	1
Granada	3
Huelva	1
Jaén	1
Málaga	10
Sevilla	2
<b>Andalucía</b>	<b>22</b>

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h.

**Figura 30.7. Estaciones principales de la AEMET integradas en el CLIMA.**



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g.

### 7.3.2.3. Red de Estaciones Secundarias

En el año 2013 y en Andalucía, la red secundaria de la AEMET (formada íntegramente por estaciones manuales, como ya hemos comentado) tenía activas 457 estaciones, distribuidas entre las ocho provincias tal como se muestra en la Tabla 7.7. Destacan Almería y Cádiz por ser las peor representadas en esta red, tanto en números absolutos (30 y 29 estaciones respectivamente), como relativos (3.4 y 3.9 estaciones por cada 1000 km<sup>2</sup> cuando para el total de Andalucía es de 5.2). La provincia mejor representada en esta red es, una vez más (como en todas las redes de la AEMET), Málaga, que aunque en valores absolutos es igualada por Huelva (69 estaciones), en valores relativos destaca con más de 9.4 observatorios por cada 1000 km<sup>2</sup> a pesar de ser la provincia con menor superficie de las andaluzas.

**Tabla 7.7. Estaciones secundarias de la AEMET (activas en 2013) por provincias.**

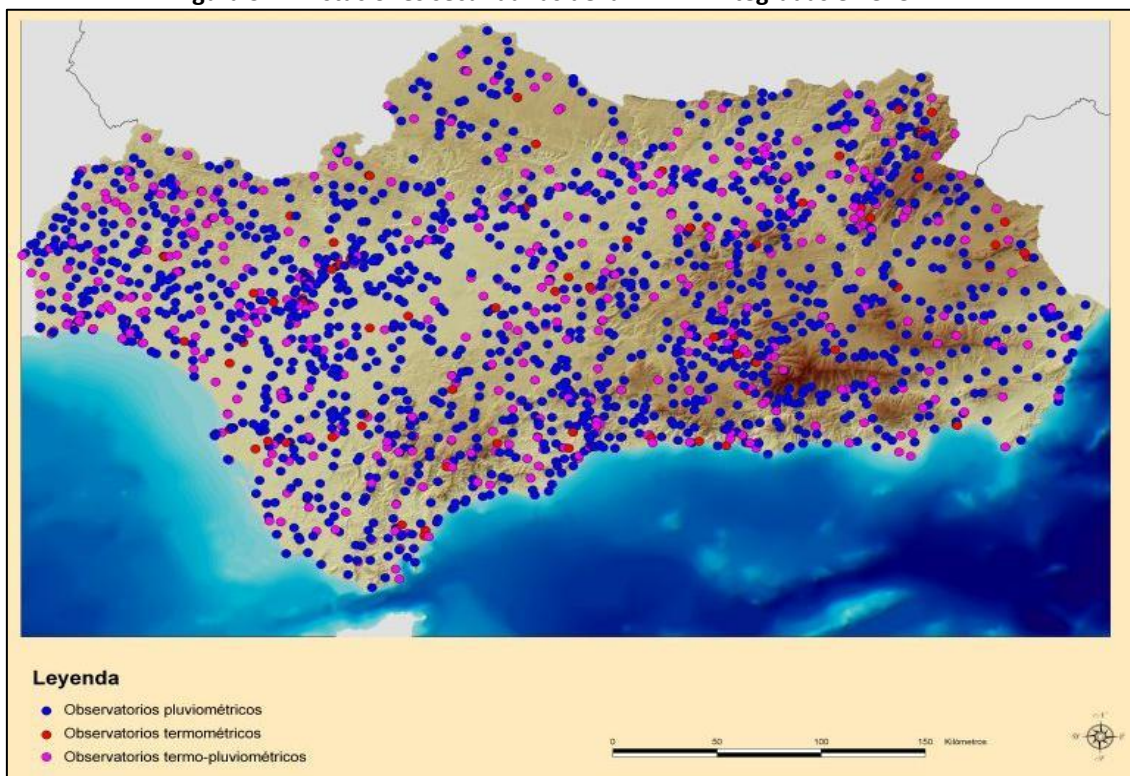
Provincia	AEMet Secundarias	Estaciones por cada 1000 km <sup>2</sup>	Superficie provincial km <sup>2</sup>
Almería	30	3.42	8.769
Cádiz	29	3.90	7.442
Córdoba	62	4.50	13.769
Granada	73	5.78	12.635
Huelva	69	6.80	10.148
Jaén	61	4.52	13.484
Málaga	69	9.44	7.308
Sevilla	64	4.56	14.042
<b>Andalucía</b>	<b>457</b>	<b>5.24</b>	<b>87.597</b>

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h (modificado).

El mapa que ofrece la Consejería de Medio Ambiente para mostrar la distribución espacial de estas estaciones se ofrece en la Figura 31.7 en donde se incluyen no sólo las activas en el año 2013 sino, probablemente, las que configuran la serie histórica disponible a través del subsistema CLIMA.



Figura 31.7. Estaciones secundarias de la AEMET integradas en el CLIMA



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g.

### 7.3.3. Administración Autonómica. Redes de la Junta de Andalucía

La administración autonómica, en el ejercicio de sus competencias en diversos ámbitos (medio ambiente, agricultura, gestión del agua, etc.) también ha creado y gestiona diversas redes de observación meteorológica que son más reciente que las de la AEMET y cuya ubicación y diseño responde a objetivos mucho más específicos. Las agruparemos en función de la Consejería responsable de su implantación, mantenimiento y explotación.

#### 7.3.3.1. Consejería de Medio Ambiente

- **Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire (SIVA)**

A partir de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (Comunidad Autónoma de Andalucía, 2007) se establece la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire en Andalucía, que es coordinada por el organismo competente en materia de medio ambiente, en este caso la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Entre las funciones de esta red, se encuentran:

- “Determinación del estado de la calidad del aire y el grado de cumplimiento de límites con respecto a los objetivos que establezca la legislación vigente.

- Observación de la evolución de contaminantes en el tiempo.
- Detección rápida de posibles situaciones de alerta o emergencia, así como seguimiento de la evolución de la concentración de contaminantes.
- Informar a la población sobre la calidad del aire.
- Aportar información para el desarrollo de modelos de predicción.
- Proporcionar datos para la formulación, en su caso, de Planes de Mejora de la Calidad del Aire y Planes de Acción a Corto Plazo.
- Intercambio de información de la Administración Autonómica con la Estatal y Comunitaria.
- Investigación.” (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015i).

Para dar respuesta a estas funciones, la red está “integrada por todos los sistemas de evaluación de la calidad del aire instalados en el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía (...). Son sistemas de evaluación de la calidad del aire, entre otros, las estaciones de medida de la calidad del aire, fijas o móviles, los laboratorios de la calidad del aire y las técnicas de modelización y estimación objetivas” (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015i). De este modo, dentro de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire pueden distinguirse varias subredes, de las cuales, para los objetivos del presente trabajo, sólo nos interesa la llamada **Red Automática de Calidad del Aire**, que está compuesta por una serie de estaciones de medida de la calidad del aire, cuya titularidad es de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, de otras instituciones con las que existen acuerdos de colaboración y de empresas privadas.

Estas estaciones están situadas en puntos que se consideran representativos, con el objeto de optimizar la información sobre la distribución espacial de la contaminación. Algunas de ellas se han ubicado buscando que los valores registrados no estén demasiado influidos por las condiciones locales, mientras que otras están en puntos donde se esperan los valores máximos de diferentes contaminantes, como son las orientadas al seguimiento de la contaminación producida por el tráfico de vehículos. Dependiendo de la zona en la que se ubiquen, las estaciones disponen de distintos equipos de medida de contaminantes químicos (partículas de tamaño inferior a 10, 2,5 y 1 micras, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, benceno, tolueno, xileno, etilbenceno y ácido sulfhídrico), parámetros acústicos y también meteorológicos (viento, precipitación, humedad, radiación solar, presión y temperatura).

La Consejería de Medio Ambiente califica esta red de “homogénea, estable, y con un rendimiento obtenido de validez de datos en torno al 90%”, por lo que afirma que

“esta Red se encuentra consolidada” (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015i).

El número de estaciones de la red SIVA ha ido creciendo desde 61 en 1996, pasando de 91 en 2012 (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015i) hasta 101 estaciones en el año 2015; éste último es el dato más actualizado que hemos encontrado (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015j), aunque contrasta con la información publicada en el Informe de Medio Ambiente de 2014 (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h), en el que se mencionan sólo 52 estaciones pertenecientes a esta red. En cualquier caso, no todas ellas reciben información de variables meteorológicas. De hecho, de la red activa en 2015, sólo 31 recogen datos de precipitación.

La distribución de las estaciones de la red SIVA por provincias es muy desigual, como puede observarse en los datos de la Tabla 8.7, referidos a las estaciones activas en 2013. La provincia mejor representada en esta red es la de Cádiz, con 10 estaciones, mientras que Córdoba sólo cuenta con 2. La ubicación espacial de estas estaciones puede observarse en la Figura 32.7 en ella queda patente la desigualdad provincial y que el objetivo concreto de esta red: el seguimiento de la contaminación, determina la concentración de las estaciones en las zonas más industrializadas y más urbanizadas de la Comunidad. Por ello, no tiene mucho sentido el uso de los datos de esta red para la caracterización general de la precipitación en Andalucía, pero sí podría tenerlo para otras finalidades como la realización de estudios de clima urbano.

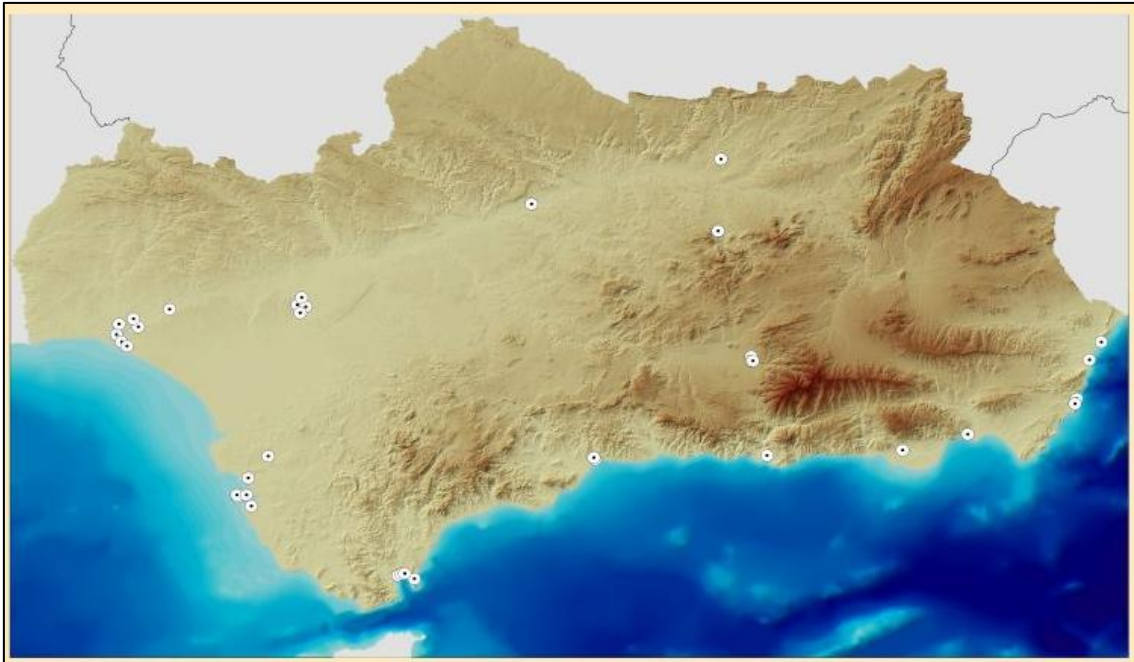
**Tabla 8. 8. Estaciones de la red SIVA (activas en 2013) por provincias.**

Provincia	SIVA
Almería	9
Cádiz	10
Córdoba	2
Granada	6
Huelva	8
Jaén	4
Málaga	5
Sevilla	8
<b>Andalucía</b>	<b>52</b>

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h.

En el mapa que figura a continuación no coincide el número de estaciones con el total que reflejan los datos provinciales por lo que resulta difícil proporcionar una cifra *oficial* de esta red.

**Figura 32.7. Estaciones de la red SIVA.**



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g.

- **Red de lucha contra los incendios forestales (INFOCA). Red EARM**

El objetivo de esta red de medición meteorológica es disponer de información de variables meteorológicas clave a fin de evaluar el riesgo de incendio. Para esta finalidad, interesa conocer fundamentalmente el régimen de precipitaciones y vientos, la distribución de temperaturas y la humedad relativa, tanto en su variación diaria como en su evolución a lo largo del año y, especialmente, en los meses estivales, cuando el riesgo de incendio es mayor.

La red EARM (Red de Estaciones Automáticas y Remotas de Meteorología) es gestionada a través del Centro Operativo Regional de Prevención y Extinción de Incendios (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g) y “está constituida por 37 estaciones automáticas de meteorología, distribuidas en las áreas forestales de Andalucía e instaladas en CEDEFO, casas forestales y otras edificaciones. Cada estación está compuesta por los siguientes elementos:

- Torre en celosía portante de los sensores para las mediciones.
- Estación de adquisición, almacenamiento y procesado de los valores de cada una de las variables meteorológicas.
- Sensores meteorológicos.
- Sistema de alimentación energética, bien por paneles fotovoltaicos o conexión a red.
- Sistema de intercomunicación con los Centros de Operaciones mediante conexión por módem con respuesta y marcación automática, a través de la red telefónica GSM.

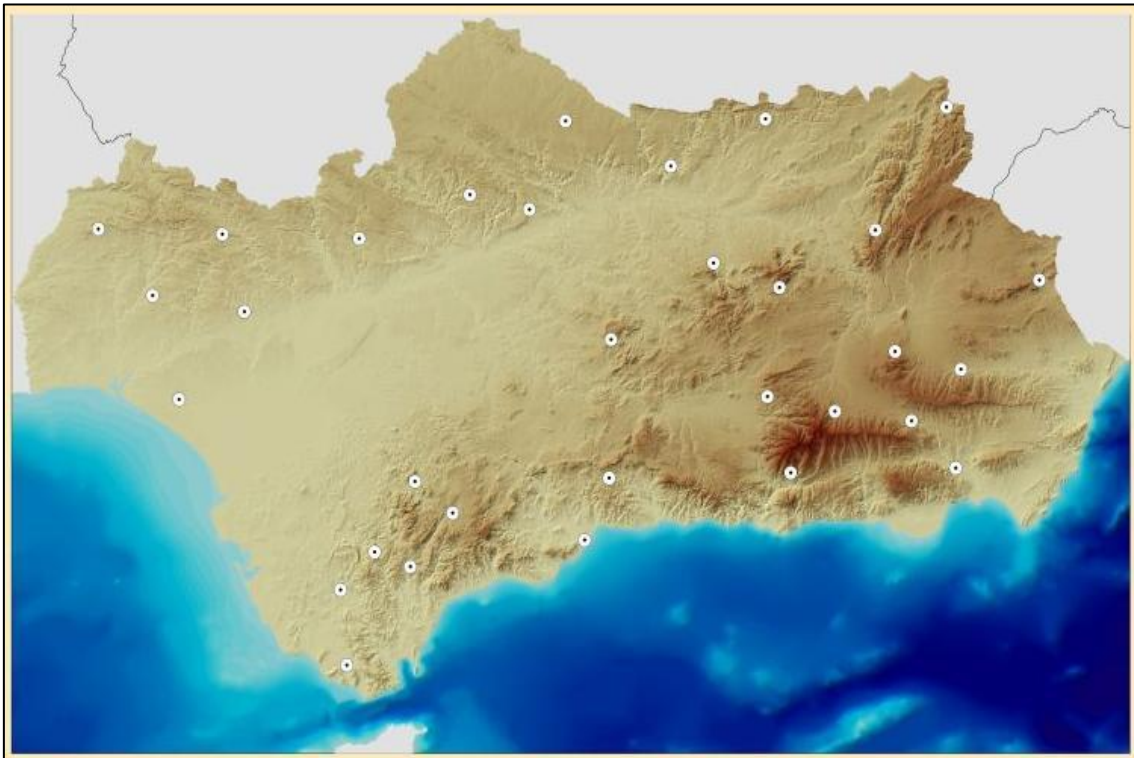
(...) Las estaciones realizan mediciones de forma continua, registrándose los valores medios y extremos de cada variable con una frecuencia de diez minutos. Las variables que se miden son:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Precipitación.
- Radiación solar.
- Presión atmosférica.
- Humedad de los combustibles.

(...)El proceso de captura está totalmente automatizado, de forma que se comunica con cada estación de meteorología cuatro veces al día, una cada seis horas. De esta forma se tienen unos datos actualizados de las variables en las estaciones. También se pueden consultar los datos corrientes en cualquier momento.” (Esteso, 2003, pág. 58).

Evidentemente, la ubicación de las estaciones de esta red (Figura 33.7) se corresponde con zonas forestales, por lo que sería un buen complemento a la red SIVA, ya mencionada, para la representación del conjunto de Andalucía.

**Figura 33.7. Estaciones de la Red EARM.**



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015g.

La distribución por provincias de las estaciones de esta red que se encuentran activas desde el año 2013 es menos desigual que la de la red SIVA, como puede comprobarse en la Tabla 9.7. Desde la perspectiva de una caracterización climática regional, el reducido número de estaciones que forma esta red limita su uso, aunque podría suponer una aportación importante como fuente complementaria para la caracterización de las zonas forestales, mucho menos representadas en otras redes, que presentan mayor densidad en zonas urbanas o de intenso uso agrícola.

**Tabla 9.7. Estaciones de la red EARM (activas en 2013) por provincias.**

Provincia	EARM
Almería	3
Cádiz	4
Córdoba	3
Granada	4
Huelva	3
Jaén	4
Málaga	2
Sevilla	2
<b>Andalucía</b>	<b>25</b>

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h.

- **Red del Espacio Natural Protegido de Sierra Nevada (ENPSN)**

También es gestionada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía la llamada Red del Espacio Natural Protegido de Sierra Nevada, que consta nominalmente de cinco estaciones meteorológicas; sin embargo, en la práctica, las tres estaciones Laguna Seca corresponden a la misma ubicación, y se encuentran diferenciadas simplemente por medir diferentes parámetros. En resumen, de las tres ubicaciones diferentes en las que se realizan mediciones, se obtiene información sobre viento (dirección y velocidad), temperatura (del aire y del suelo), precipitación y radiación solar (total y ultravioleta) (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015k).

- **Red del Proyecto Guadalfeo (PG)**

Entre los años 2008 y 2011 la Consejería de Medio Ambiente ha financiado el Estudio Piloto para la Gestión Integrada de la Cuenca del Río Guadalfeo en Granada, dando como resultado un modelo de Gestión Integral de Cuenca, especialmente diseñado para entornos mediterráneos (Agencia Andaluza del Agua, 2011). Como información básica para la generación de ese modelo de gestión integral de cuenca, era necesario disponer de datos de diferentes variables climáticas, y para ello se estableció una red de cuatro estaciones meteorológicas automáticas en las que se mide precipitación, presión atmosférica, temperatura media, dirección y velocidad del viento y radiación neta de onda larga, evidentemente todas ellas localizadas en la cuenca del río

Guadalfeo. Desconocemos si tras la finalización del estudio piloto estas estaciones siguen activas.

Existen otras redes mencionadas dentro del Sistema de Información de Climatología Ambiental, dependientes de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015I), de las cuales no hemos podido encontrar información concreta, como la llamada “Red de pruebas del CLIMA” (PRUEBAS) y la “Red del Servicio de Evaluación de los Recursos Naturales” (SERN).

### 7.3.3.2. Consejería de Agricultura y Pesca

La Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía dispone, para sus fines específicos (fundamentalmente el control de plagas y enfermedades y la determinación de las necesidades de agua de los cultivos), de dos redes de estaciones meteorológicas automáticas: RIA (Red de Información Agroclimática de Andalucía) y RAIF (Red de Alerta e Información Fitosanitaria). Los datos de las dos redes de estaciones meteorológicas automáticas pueden consultarse en la página web del organismo responsable (Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, 2015).

- **Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA)**

Según el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), la Red de Información Agroclimática de Andalucía está formada por más de un centenar de estaciones meteorológicas automáticas que adquieren datos de precipitación, humedad, temperatura, radiación solar y velocidad y dirección del viento, que son publicados cada media hora (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2015a). Tal como asegura este organismo, las estaciones automáticas que forman esta red “cuentan con un adecuado plan de mantenimiento "in situ", así como con una exhaustiva revisión de los registros que suministran los sensores” (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2015a), por lo que puede constituir una fuente de información climática muy fiable.

La distribución provincial de las estaciones de esta red que se encontraban activas en 2013 se muestra en la Tabla 10.7. A esa fecha había en total 107 estaciones activas, distribuidas por toda nuestra Comunidad pero concentradas especialmente en las provincias de Jaén y Sevilla.



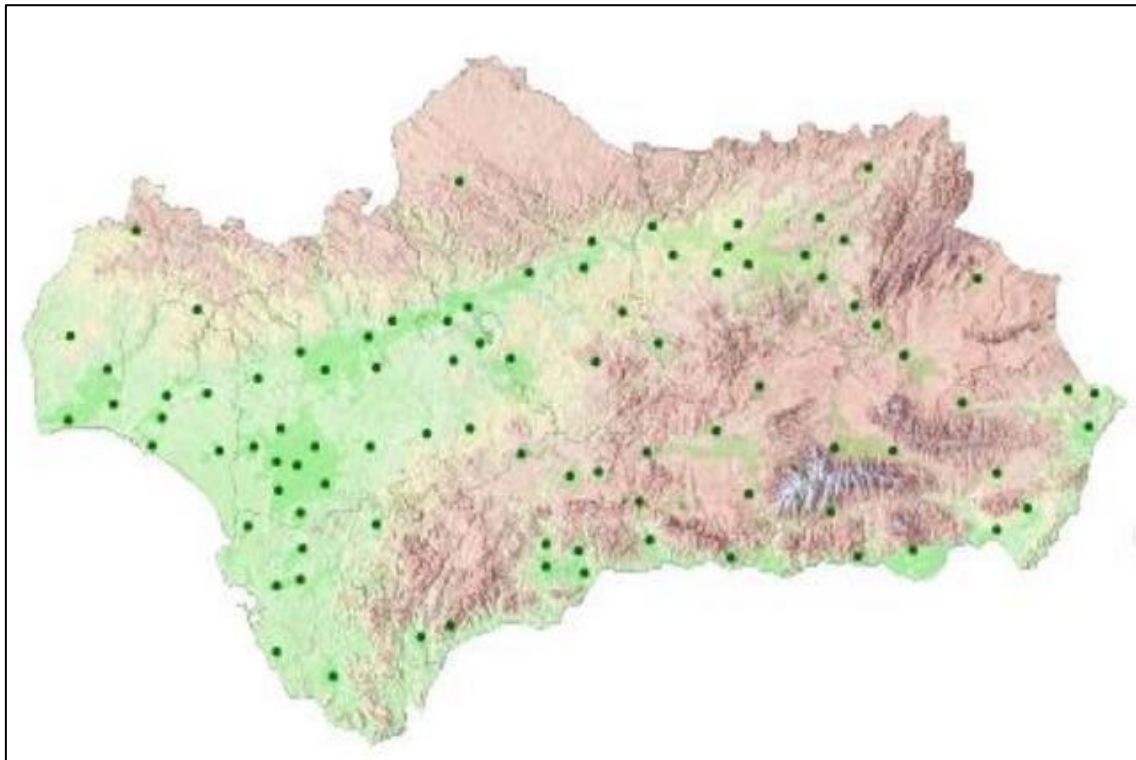
**Tabla 10.7. Estaciones de la red RIA (activas en 2013) por provincias.**

Provincia	RIA
Almería	12
Cádiz	10
Córdoba	11
Granada	11
Huelva	11
Jaén	19
Málaga	11
Sevilla	22
<b>Andalucía</b>	<b>107</b>

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h.

La Figura 34.7 muestra la distribución espacial de las estaciones de la red RIA, tal como la ofrece el Servicio de Información Agroclimática de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, 2015a). En ella se observa que las zonas mejor representadas son las de mayor uso agrícola de la región (valle del Guadalquivir, Condado onubense...), quedando grandes vacíos en las zonas con menos potencial para este uso, coincidiendo con los sistemas montañosos de la Comunidad.

**Figura 34.7. Estaciones de la Red RIA.**



Fuente: Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, 2015a.

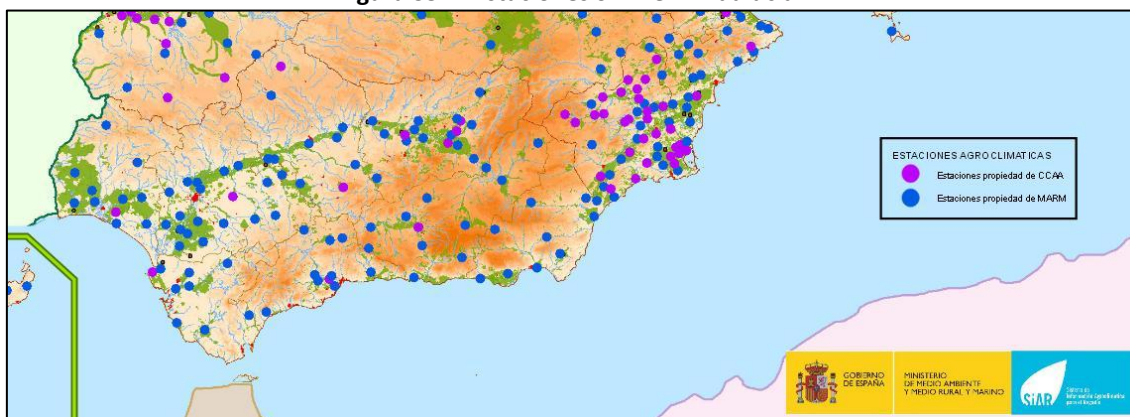
Aunque no depende de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, sino del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio



Ambiente, mencionaremos en este apartado el llamado **Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR)**, por tener los mismos objetivos que la Red RIA que acabamos de describir y como ejemplo de la dificultad para coordinar la información climática procedente de distintas fuentes.

Tal como lo define el Ministerio, “el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) es una infraestructura que captura, registra y divulga los datos agroclimáticos necesarios para el cálculo de la demanda hídrica de las zonas de riego, que permite obtener información útil, rigurosa y de calidad y que contribuye a una mejor planificación, gestión, manejo y control de las explotaciones de regadío” (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2015a). Para ello, utiliza información procedente de una red de 468 estaciones agroclimáticas instaladas en todo el territorio nacional. Los datos diarios, semanales o mensuales de esta red de estaciones se pueden consultar online. La ubicación de las estaciones agroclimáticas pertenecientes a esta red se muestra en la Figura 35.7, tal como aparece en la aplicación de consulta del SIAR.

Figura 35.7. Estaciones SIAR en Andalucía.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015ª.

En ella se observa que, pese a que el SIAR menciona en la leyenda que hay estaciones de propiedad autonómica, la mayor parte de los observatorios de esta red en el territorio andaluz, se señalan como de propiedad del Ministerio. De la comparación de esta figura con la número 9 se puede concluir que en gran parte corresponden a las mismas ubicaciones, lo que nos hace pensar que son las mismas estaciones sin especificar que se integran en redes con denominaciones diferentes y vinculadas a administraciones distintas. Lo señalamos como un ejemplo de la falta de coordinación entre administraciones, al menos explícita, y de la duplicidad de información y esfuerzos que hemos encontrado al profundizar en este tema.

- **Red de Alerta e Información Fitosanitaria (RAIF)**

La Red de Alerta e Información Fitosanitaria se puso en marcha en Andalucía en 1996 con el objetivo de proporcionar información actualizada sobre el estado fitosanitario de los principales cultivos de la Comunidad, a través de la página web de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Además de información sobre las plagas y fenología de los cultivos en las diferentes Zonas Biológicas (recogidas en las llamadas “estaciones de control biológico”), esta red proporciona datos sobre los elementos climáticos de cada zona con el objetivo fundamental de conocer las necesidades de agua de los cultivos, gracias a una serie de estaciones agrometeorológicas automáticas (Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, 2015b).

En estas estaciones, cuyos datos diarios y acumulados desde junio del año 2000 se pueden consultar desde una página web, dependiente de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural que se ha desarrollado en parte con financiación de los fondos FEDER (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2015c), las variables climáticas que se miden y cuyos datos están disponibles : temperatura (máxima, mínima y media, y hora de la temperatura máxima y mínima), humedad relativa (máxima, mínima y media), radiación solar, precipitación (cantidad diaria y acumulada), viento (velocidad y dirección media) y evapotranspiración (diaria y acumulada). También existe la posibilidad de consultar los datos horarios online (Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, 2015c).

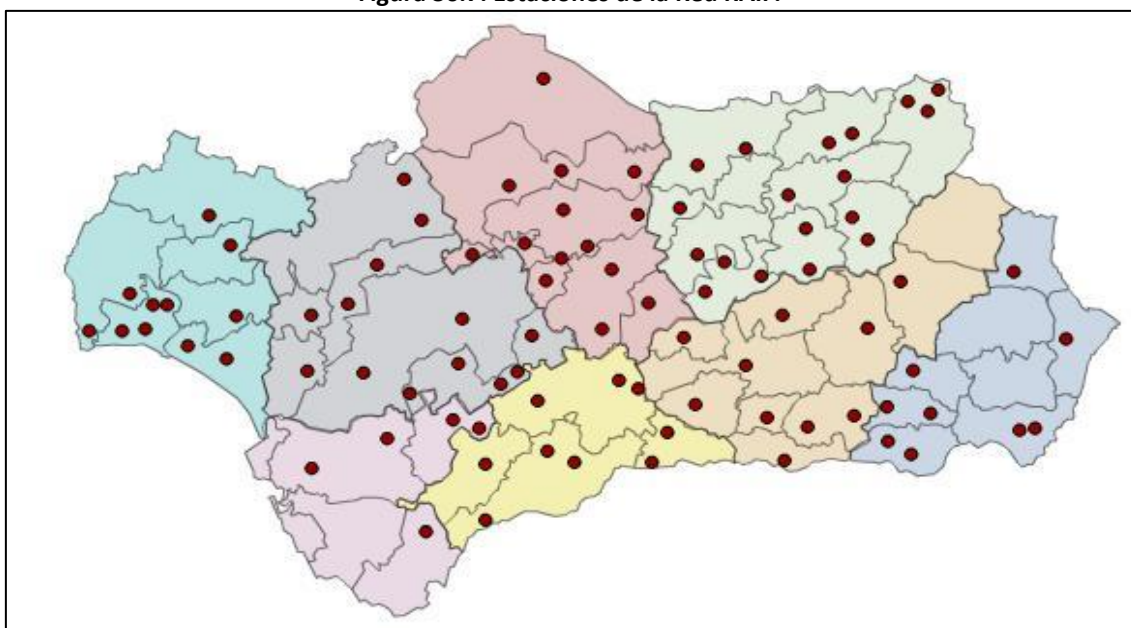
La distribución de las estaciones meteorológicas de la red RAIF que estaban activas en 2013 por provincias, aparece en la Tabla 11.7. De acuerdo con sus objetivos, se observa una mayor concentración de estaciones en las provincias con mayor superficie agrícola. Por su parte, la ubicación de las estaciones de esta red se muestra en la Figura 36.7, que igualmente muestra la mayor concentración de este tipo de estaciones en las zonas de mayor intensidad de uso agrícola, y especialmente de los cultivos para cuyo seguimiento se ha diseñado la red: algodón, arroz, cítricos, fresa, hortícolas protegidos, olivo, remolacha azucarera, tomate para transformación industrial, trigo duro y vid (Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, 2015b).

**Tabla 11.7. Estaciones de la red RAIF (activas en 2013) por provincias.**

Provincia	RAIF
Almería	9
Cádiz	5
Córdoba	14
Granada	10
Huelva	11
Jaén	18
Málaga	9
Sevilla	13
<b>Andalucía</b>	<b>89</b>

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015h.

**Figura 36.7. Estaciones de la Red RAIF.**



Fuente: Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural, 2015d.

Esta red destaca por su gran calidad y excelente funcionamiento, gracias al mantenimiento y cuidado de estas estaciones, que garantiza la continuidad de los registros así como la fiabilidad de los datos. Las facilidades de acceso a todas las series y variables a cualquier escala temporal es un ejemplo a seguir en la difusión y accesibilidad de la información pública.

#### **7.3.4. Las Confederaciones Hidrográficas: el Sistema Automático de Información Hidrológica**

Es evidente la importancia que tiene disponer de información climática, en general, y especialmente la relativa a la precipitación para la gestión del agua. Por ello, todos los organismos relacionados de alguna forma con este proceso suelen disponer de alguna red de medición de la precipitación. Es el caso de las antiguas Confederaciones

Hidrográficas, posteriormente convertidas en Demarcaciones Hidrográficas, que han gestionado en diferentes momentos redes de observación con distintas características. En la actualidad, la red fundamental es la que se encuentra integrada en el SAIH: Sistema Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H), dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Tal como se especifica en el documento “Programa S.A.I.H.: Descripción y funcionalidad. El presente y futuro del sistema” (Dirección General del Agua, 2009), “los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH) de las Confederaciones Hidrográficas son el resultado de un Programa de la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio de Medio Ambiente para su desarrollo en todas las cuencas intercomunitarias, iniciado en la del Júcar (1983) y actualmente en avanzado estado de ejecución. El SAIH puede definirse como un Sistema de Información en tiempo real, basado en la captura, transmisión y procesado de los valores adoptados por las variables hidrometeorológicas e hidráulicas más significativas, en determinados puntos geográficos de las cuencas hidrográficas sensorizadas.

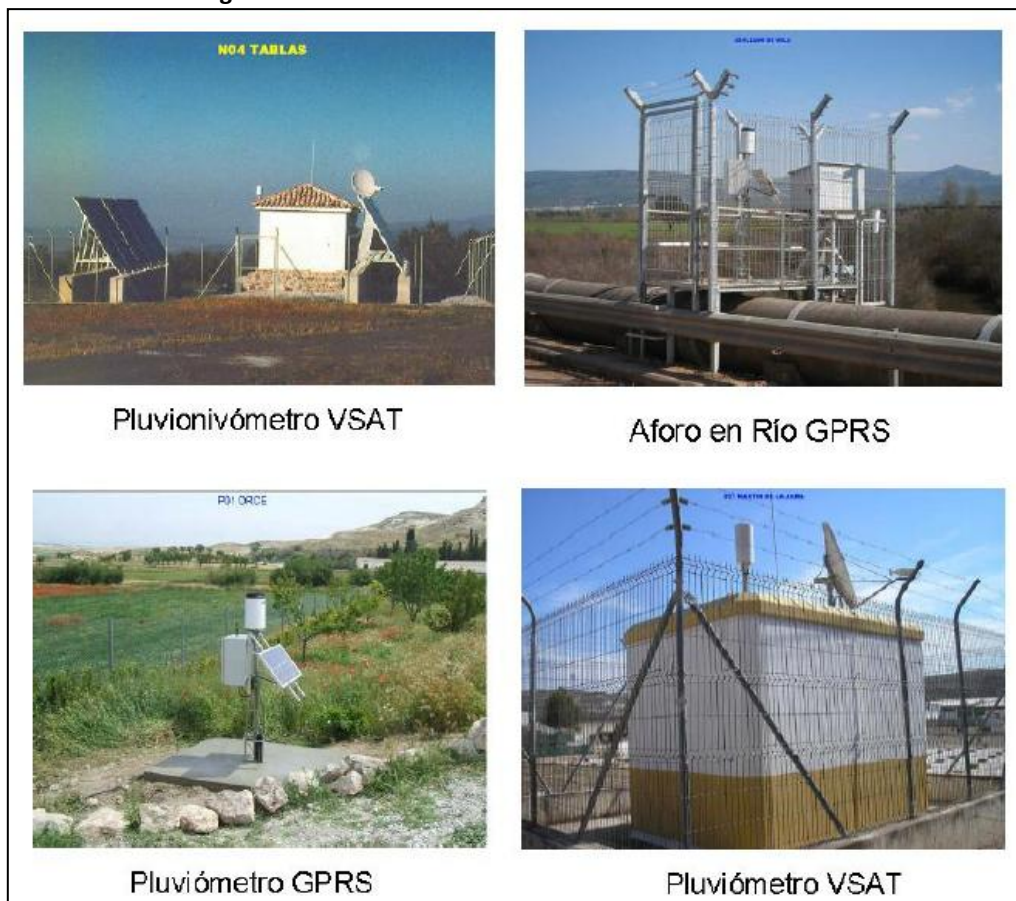
Proporciona información relativa a los niveles y caudales circulantes por los principales ríos y afluentes, el nivel y volumen embalsado en las presas, el caudal desaguado por los aliviaderos, válvulas y compuertas de las mismas, la lluvia en numerosos puntos y los caudales detraídos por los principales usos del agua en cuenca” (Dirección General del Agua, 2009, pág. 2).

El SAIH capta, transmite, procesa y presenta la información relevante para controlar el estado hidrológico e hidráulico de cada cuenca. Por ello se utilizan redes automáticas de medición que transmiten los datos a través de sistemas de comunicación (vía radio o vía satélite utilizando terminales VSAT) a centros de proceso, encargados de preparar y facilitar el acceso a dicha información. “Para captar estas variables se utilizan dispositivos (sensores), que están en contacto con el medio, dotados de unos codificadores que proporcionan la señal eléctrica o lógica del estado de la variable que se mide. Como tal sistema de información se apoya en una red de comunicaciones, y como elementos inteligentes de la misma, utiliza sistemas de adquisición y proceso de datos” (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2015b).

Las estaciones de la red SAIH miden variables hidráulicas e hidrológicas y también climáticas y ambientales. Dentro de este último grupo, que es el que nos interesa, se mide tanto la precipitación líquida como la sólida. La precipitación líquida se mide mediante “pluviómetros con capacidad ilimitada para minimizar el mantenimiento. En todos los SAIH se han instalado pluviómetros de balancín. Estos equipos recogen la lluvia sobre una superficie cónica que dirige el agua hacia un orificio calibrado. Las gotas de agua caen en uno de los dos recipientes de un balancín que se va llenando. Una vez lleno, vuelca el balancín, dando un pulso, vaciando el agua, y quedando

preparado para comenzar el llenado del otro recipiente. (Dirección General del Agua, 2009, pág. 10). La precipitación sólida se mide mediante pluviómetros con calefacción, pluviómetros por peso y nivómetros (radioactivos o de rayos cósmicos). En la Figura 37.7 se presentan algunos de los sensores instalados en las estaciones de la red SAIH.

Figura 37.7. Instrumentos en las estaciones de la red SAIH.

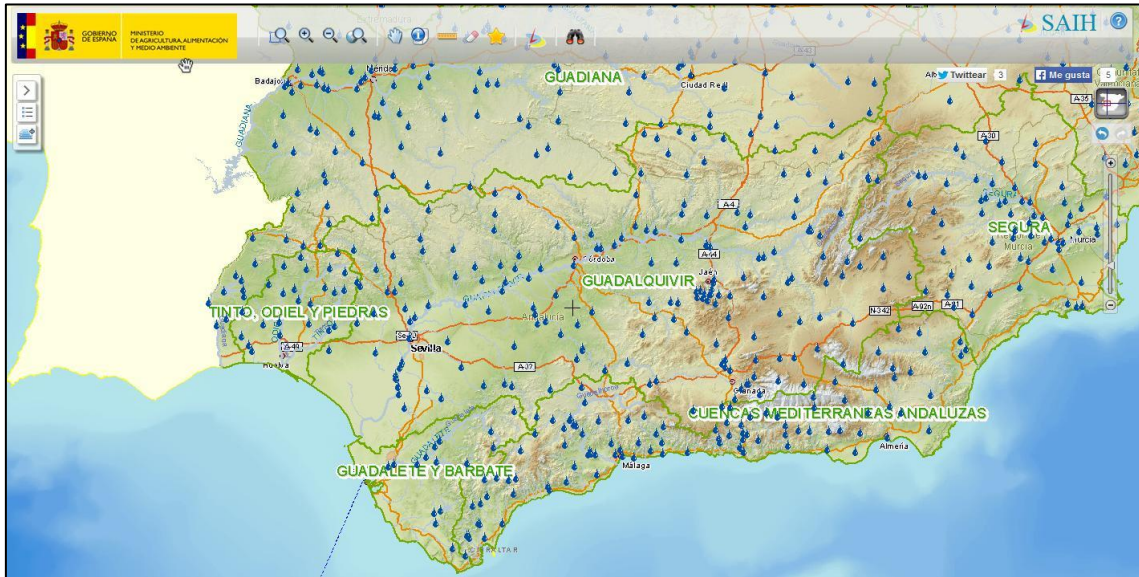


Fuente: S.A.I.H. del Distrito Hidrográfico del Guadalquivir.

El SAIH dispone de un visor cartográfico (<http://sig.magrama.es/saih/>) que muestra la información sobre el caudal de los ríos, volumen embalsado y precipitación en las estaciones de la red. La ubicación de las estaciones de la red que cuentan con pluviómetro se muestra en la Figura 38.7, tal como aparecen en el mencionado visor. En ella se observa el elevado número de estaciones que componen la red y su distribución por todo el territorio de la comunidad, aunque es evidente la menor densidad de estaciones en la Sierra Morena sevillana y cordobesa, además del curso bajo del Guadalquivir, la zona occidental de la cuenca del Guadalete y Barbate y la oriental de la demarcación hidrográfica de las cuencas mediterráneas andaluzas. En el diseño de la red quedan patentes sus objetivos.



**Figura 38.7. Estaciones de la red SAIH con información pluviométrica tal como aparecen en el visor SIG SAIH.**

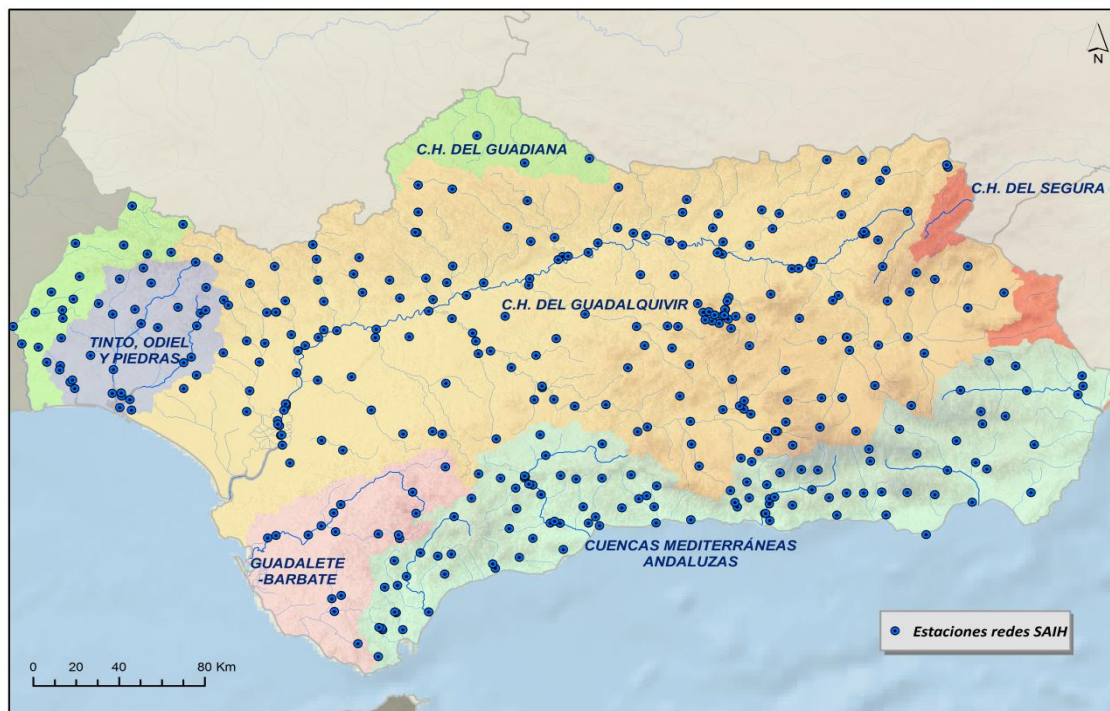


Fuente: <http://sig.magrama.es/saih/>

En la figura anterior representamos las estaciones del visor del Ministerio y en la siguiente el mapa que hemos elaborado a partir de las estaciones con datos que nos proporcionaron los sistemas SAIH de todas las confederaciones que incluyen territorio andaluz en sus cuencas hidrográficas. Los datos fueron solicitados con el fin de valorar el banco de datos de precipitación y calidad de esta red que tan buena cobertura ofrece para el territorio. A partir de ellos se representaron las estaciones y se puede constatar la coincidencia con las del visor, es decir que éste refleja realmente la situación de la red activa.

Mostramos estos mapas coincidentes, el oficial y el real obtenido (Figura 39.7) a partir de los datos existentes ya que muchas redes u estaciones aparecen como puntos de medición pero luego no se registran datos, no están disponibles, o su calidad es tan mala que a todos los efectos las estaciones son inservibles.

Figura 39.7. Estaciones de la red SAIH según la información obtenida en nuestra investigación.



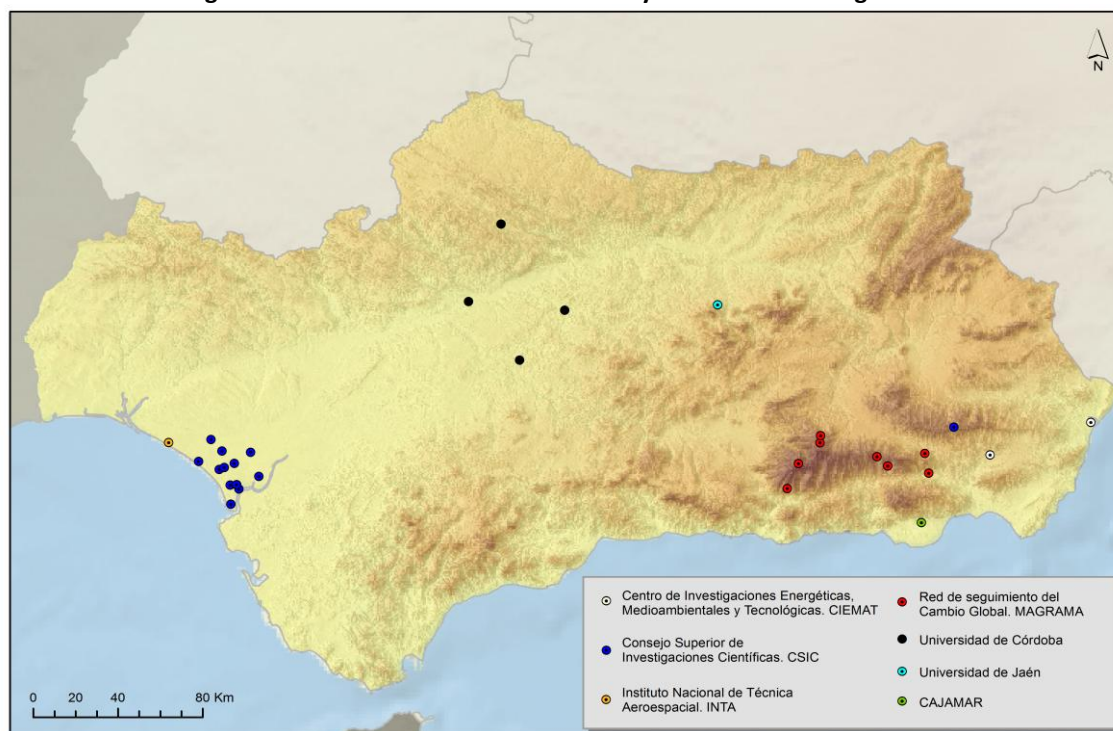
Fuente: Sistemas SAIH

La información que proporciona este sistema para la demarcación hidrográfica de las cuencas mediterráneas andaluzas y el Guadalquivir, Guadalete y Barbate, está accesible también a través del subsistema CLIMA (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015d).

### 7.3.5. Universidades y Centros de Investigación

Las universidades y centros de investigación diseñan sus propias redes de observación meteorológica de acuerdo con sus intereses y objetivos, ya que, en función de cuáles sean, puede que las redes públicas no respondan de forma precisa a sus necesidades. Otra de las razones ha sido la dificultad para acceder a los datos recogidos por estas redes públicas de forma suficientemente ágil aunque muchas de ellas ofrecen ya sus datos en la red. Mencionaremos aquí algunos de los centros más destacados (Figura 40.7), muchos de ellos vinculados al Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y al Centro de Investigaciones Ambientales y Energéticas (CIEMAT) entre otros:

Figura 40.7. Estaciones de Universidades y centros de investigación<sup>2</sup>.



Fuente Elaboración propia

- **Red de la Estación Biológica de Doñana (CSIC)**

La Estación Biológica de Doñana (EBD), es un Instituto de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ubicado en Sevilla. Entre sus atribuciones está la de conservar y favorecer la investigación de calidad en la Reserva Biológica de Doñana (RBD), declarada patrimonio de la humanidad en 1994 y considerada como uno de los espacios naturales más importantes del mundo, siendo incluida entre los grandes Espacios Científicos de la Unión Europea.

En abril de 2006, la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) del Ministerio de Educación y Ciencia aprobó el reconocimiento como Infraestructura Científica y Tecnológica Singular (ICTS) a la Reserva Científica de Doñana, una de cuyas funciones es dotar de equipamientos científicos a la Reserva que permitan automatizar y estandarizar el seguimiento de procesos naturales y desarrollar actividades de investigación que no se podrían hacer en otras situaciones.

Consta de una sola estación, situada en el Palacio del Acebrón, en la que se miden precipitación, temperatura (mínima y máxima diaria, y temperatura media del termómetro seco y húmedo). Es la estación con registros más largos del parque lo que constituye una información muy valiosa en un espacio históricamente sin mediciones

<sup>2</sup> No se recogen todas las que pueden existir.



climáticas y que, además, pueden ser descargados (<http://www-rbd.ebd.csic.es/mediofisico/parametrosmeteorologicos/palaciomanual/em05.htm>).

Dentro de Doñana existen otras estaciones como Palacio automática y Marilópez cuyos son recientemente accesibles (<http://www.ebd.csic.es/web/icts-rbd-donnana/clima-y-meteorologia>). Existen otras estaciones automáticas dentro de este espacio natural para apoyo de sus proyectos aunque con series son aún cortas para estudios de caracterización y variabilidad climática (Tabla 12.7).

**Tabla 12.7. Estaciones meteorológicas automáticas del CSIC en Doñana.**

Nombre	Fecha_inicio	Entidad gestora
BRENES RM1	28/01/2008	Estación Biológica de Doñana
CANCELA MILLAN RM1	26/10/2009	Estación Biológica de Doñana
CONTROL RM1	27/11/2007	Estación Biológica de Doñana
HONDURAS BURRO RM	27/11/2008	Estación Biológica de Doñana
HUERTA TEJADA RM	23/10/2009	Estación Biológica de Doñana
Lab. Lodos (Palacio) RM	16/10/2009	Estación Biológica de Doñana
LUCIO DEL REY RM	10/11/2009	Estación Biológica de Doñana
MANECORRO RM1	19/03/2008	Estación Biológica de Doñana
MARISMILLAS RM	23/09/2009	Estación Biológica de Doñana
ROSALIMAN RM	22/05/2009	Estación Biológica de Doñana
VETA LA PALMA RM1	05/12/2007	Estación Biológica de Doñana
VETALENGUA RM	04/11/2009	Estación Biológica de Doñana
CANCELA MILLAN RM2	26/10/2009	Parque Nacional de Doñana
HONDURAS BURRO RM2	14/05/2009	Parque Nacional de Doñana
LUCIO DEL REY RM2	10/11/2009	Parque Nacional de Doñana
ROSALIMAN RM2	04/06/2009	Parque Nacional de Doñana
VETALENGUA RM2	05/11/2009	Parque Nacional de Doñana

Fuente: Datos de la ICTS – RBD, Estación Biológica de Doñana. CSIC.

- **El Observatorio Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto (CSIC)**

Situado en la Sierra de Los Filabres, al norte de Almería opera conjuntamente con el Instituto Max-Planck de Astronomía en Heidelberg en Alemania, y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC) en Granada. Además de la información astronómica Calar Alto dispone de una estación meteorológica que comienza a tomar datos en enero de 1997, para todas las variables climatológicas a excepción de la precipitación, que inicia sus registros en agosto de 2001 tras la adquisición de un pluviómetro.

A pesar de no contar con un periodo extenso de observaciones, la información climatológica que suministra este observatorio es excepcionalmente valiosa por diversas razones. En primer lugar, por su localización en una zona de montaña y a gran altitud (2167,8 metros), habitualmente desprovistas de instrumentos de medición climatológica. Este hecho resulta aún más destacable ya que en Andalucía no existe actualmente ninguna estación activa, perteneciente a una

institución pública, que tome datos a más de 2000 metros altitud con series de más de 10 años de registros. Únicamente la empresa de gestión de la Estación de Esquí turístico de Sierra Nevada, CETURSA, mantiene una estación meteorológica que a partir 1994, año en que por necesidades del Campeonato Mundial de Esquí Alpino, se instala a 2550 metros.

Su importancia radica, además, en otro hecho también ligado a su ubicación, en una zona de transición climática entre ámbitos diferentes ligados a mecanismos atmosféricos atlánticos y mediterráneos, entre el desierto y la montaña, separando dos cuencas divisorias de la provincia de Almería, la del Andarax y del Almanzora.

- **Instituto de Agricultura Sostenible (IAS) (CSIC)**

Este instituto de investigación agronómica cuenta con una página web donde se pueden descargar los datos de sus estaciones agrometeorológicas que figuran a continuación (Tabla 13.7) y que miden variables poco medidas habitualmente como evapotranspiración de referencia, radiación solar, lluvia máxima en 10 minutos, etc.

**Tabla 13.7. Estaciones del Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC)**

Nombre	Zona	Municipio	Provincia	Estado	Inicio	Fin
Instituto de Agricultura Sostenible			Córdoba	Activa	29/03/2000	Presente
Finca "La Reina"	Zona de la Vega de Córdoba		Córdoba	Activa	06/10/2001	Presente
Santaella	Zona regable del Genil-Cabra	Santaella	Córdoba	Activa	17/02/1999	Presente
Los Sotillos	Zona regable de Los Sotillos		Cádiz	Suspendida	12/08/1999	11/02/2007
Espiel	Zona de la Sierra de Córdoba	Espiel	Córdoba	Activa	08/05/2003	Presente
Finca la Parrilla - Fuente Palmera	Fuente Palmera/Posadas	Zona de la sierra de Córdoba	Córdoba	Activa	17/05/2007	Presente
Finca La Harina	Fuente Palmera/Posadas	Santa Cruz	Córdoba	Activa	16/11/2010	Presente

Fuente: <http://www.ias.csic.es/>

- **Red del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)**

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial es un organismo público de investigación especializado en la investigación y desarrollo tecnológico aeroespacial y pertenece al Ministerio de Defensa. Consta también de una sola estación, situada en el Centro de Experimentación del "El Arenosillo", y la destacamos porque, de acuerdo con sus objetivos, en ella se miden parámetros muy concretos, relacionados con la radiación

ultravioleta y el espesor de la capa de ozono, de los que no se tiene información en la mayor parte de las estaciones meteorológicas pertenecientes a otras redes; sin embargo, no se miden (o al menos sus datos no están disponibles para consulta a través del Subsistema CLIMA) otras variables climáticas más usuales como la que aquí nos interesa, la precipitación.

- **Plataforma Solar de Almería**

La Plataforma Solar de Almería (PSA), perteneciente al Centro de Investigaciones Energética, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), es el mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de Europa dedicado a las tecnologías solares de concentración. La PSA desarrolla sus actividades integrada como una División de I+D dentro de la estructura del Departamento de Energía del CIEMAT.

Desde 1988, la PSA cuenta con una estación meteorológica centrada en la medida de la radiación solar integrada (radiación global, directa y difusa) así como otras variables meteorológicas genéricas (temperatura, velocidad y dirección de viento, humedad y presión atmosférica, precipitación acumulada...). En los últimos años, la PSA ha acometido la tarea de mejorar los servicios suministrados por la antigua estación, instalando una nueva estación radiométrica cumpliendo los más estrictos requisitos de calidad y precisión en la medida de la radiación solar. La configuración de la nueva estación se ha hecho siguiendo las directrices de la Organización Meteorológica Mundial en el marco de la red: *Baseline Surface Radiation Network*, a la que pertenece de pleno derecho desde octubre de 2005. Además de las medidas de las variables meteorológicas mencionadas, como característica destacable, cabe mencionar la medida de la distribución espectral de la radiación solar ([www.psa.es](http://www.psa.es)) (Figura 41.7).

**Figura 41.7. Visión global de la nueva estación radiométrica de la PSA**



Fuente: [www.psa.es](http://www.psa.es)

- **Torre Meteorológica de Palomares (CIEMAT)**

La Unidad de Recuperación de Terrenos Radiológicamente Contaminados del CIEMAT dispone de una Estación Meteorológica situada en el término municipal de Cuevas del Almanzora en la pedanía de Palomares, en el paraje de Puerto Blanco (Almería). La estación consta de seis sensores de diferentes parámetros meteorológicos. Están instalados en un mástil de 9 m de altura. Los parámetros suministrados por la estación son: Velocidad y dirección del viento, temperatura a 1,5 y 5 m, humedad relativa, presión ambiental y radiación global. Los datos se presentan de manera instantánea en promedios de 10 min y con un histórico de las últimas 24 h y pueden ser consultados tal como aparece en la siguiente figura (Figura 42.7).

Figura 42.7. Datos disponibles en la web de la Torre meteorológica de Palomares.



Fuente: <http://www.ciemat.es>

- **Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales (RCG)**

Entendiendo el cambio global como “el conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema tierra”, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente gestiona el llamado “Programa de Seguimiento del Cambio Global” cuyo objetivo principal es “crear una infraestructura de toma, almacenaje y procesamiento de datos “in situ”, además de su intercambio con la Comunidad Científica, que permita el desarrollo de un sistema de evaluación y seguimiento de los impactos que se pueden generar en los Parques Nacionales españoles como consecuencia del cambio global” (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2015c).

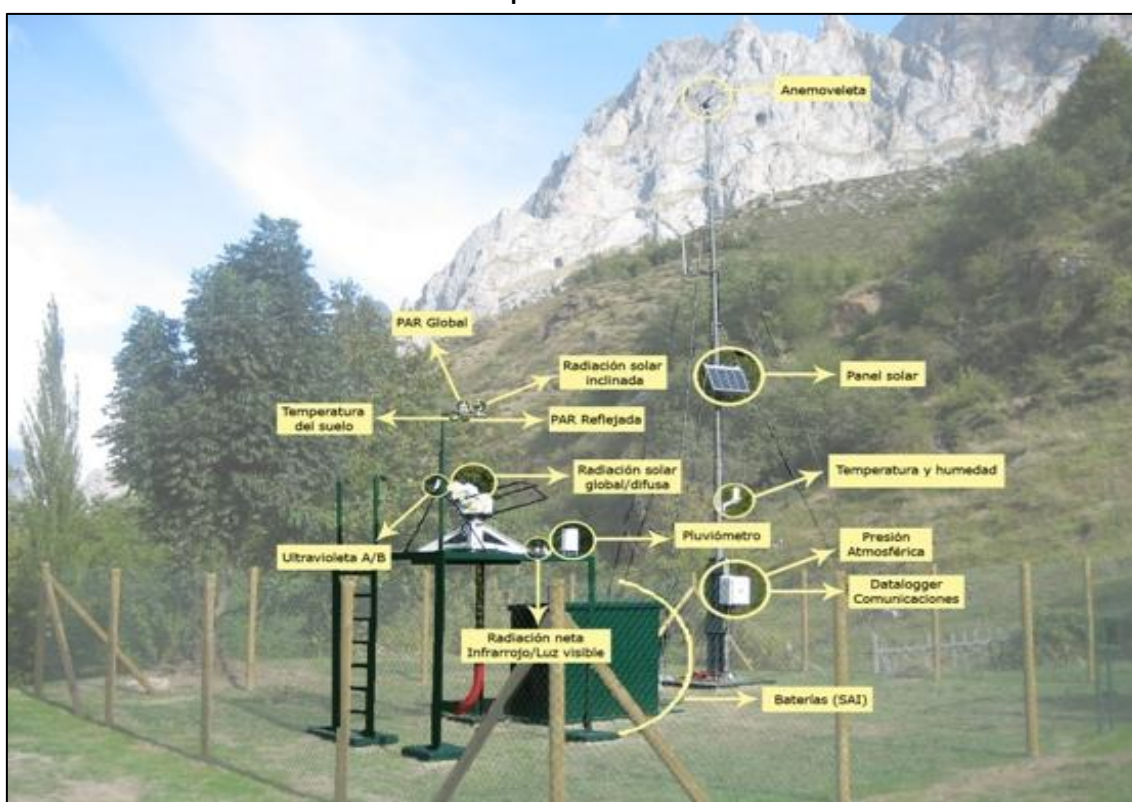
Dicho Programa “se lleva cabo mediante un Convenio de Colaboración entre el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN), la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Fundación Biodiversidad (FB), con la colaboración de Ferrovial-Agromán” (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2015c) .

En el Programa se incluyen siete de los quince Parques Nacionales españoles, seleccionados como representantes de ecosistemas específicos: Picos de Europa, Archipiélago de Cabrera, Teide, Cabañeros, Ordesa y Monte Perdido, Islas Atlánticas de

Galicia y, en Andalucía, Sierra Nevada, que representa los sistemas naturales de media y alta montaña mediterránea.

En cada uno de estos Parques se ha instalado una serie de estaciones meteorológicas con sensores que miden temperatura y humedad del aire, precipitación, velocidad y dirección de viento, radiación solar global y presión atmosférica. Se encuentran disponibles tanto datos diezminutales como resúmenes diarios y mensuales, a través de la página web del Programa (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2015d). La disposición de los sensores en cada una de las estaciones se muestra en la Figura 43.7.

**Figura 43.7. Instrumentos en las estaciones del Programa de Seguimiento del Cambio Global en Parques Naturales.**



Fuente: Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2015c.

Hay instaladas 8 estaciones en las provincias de Almería y Granada, en concreto, en Sierra Nevada, que es el único de los parques que se encuentra en territorio andaluz y por tanto es relevante para nuestro trabajo. Sus datos mensuales se pueden consultar desde el subsistema CLIMA, aunque de las ocho estaciones algunas disponen de un periodo muy corto de datos, en muchos casos menos de un año.

### 7.3.6. Otros observatorios. Redes privadas

Algunas empresas y particulares también instalan y gestionan redes para sus propios fines. Aunque por su propia naturaleza suelen ser redes reducidas en cuanto al número de estaciones que las forman (y en muchas ocasiones son observatorios aislados). Resultaría interesante disponer de un censo completo de este tipo de instalaciones, ya que en algunos casos podrían contribuir a completar los datos proporcionados por las redes públicas en zonas de escasa densidad de observatorios o en caso de lagunas temporales. Sin embargo, no existe ningún registro de estas características.

En nuestra búsqueda de información sobre redes privadas, nos hemos dirigido a diferentes tipos de empresas, pues sabemos que las **EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales)** y **ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable)** disponen de algún tipo de estación meteorológica en sus instalaciones; sin embargo, al ser empresas de gestión municipal, y normalmente concedida a alguna empresa privada, es necesario contactar directamente con cada una de ellas; y así, nos hemos puesto en contacto con la empresa Axaragua (concesionaria de las EDAR de Vélez, Rincón de la Victoria y Trapiche), con Emacsa y Emasagra (empresas municipales de aguas de Córdoba y Granada, respectivamente) y todas nos han informado de la ubicación de sus pluviómetros, aunque la consulta de datos debe hacerse previa solicitud individual, lo que dificulta considerablemente la obtención de estos datos.

Contactamos con la **Dirección General de Tráfico (DGT)** que dispone de observatorios en las carreteras principales a fin de informar sobre las condiciones meteorológicas. En la Figura 44.7 se representan sus estaciones cuyos datos y ubicación de las estaciones fueron solicitados y obtenidos para esta investigación.

Nos comentó en comunicación personal por correo el Jefe de Explotación del Centro de Gestión del Tráfico del Suroeste de la Subdirección de Circulación de la DGT que “la DGT en Andalucía posee dos Centros de Gestión del Tráfico, situados en Sevilla y Málaga, desde donde se ejecutan las labores de control y gestión del tráfico, y entre otro equipamiento, disponemos de las Estaciones Meteorológicas que cita en su correo”. En la tabla siguiente aparecen las variables que miden las estaciones de la Dirección General de Tráfico (Tabla 14.7).

**Tabla 14.7. Variables que miden las estaciones de la Dirección General de Tráfico.**

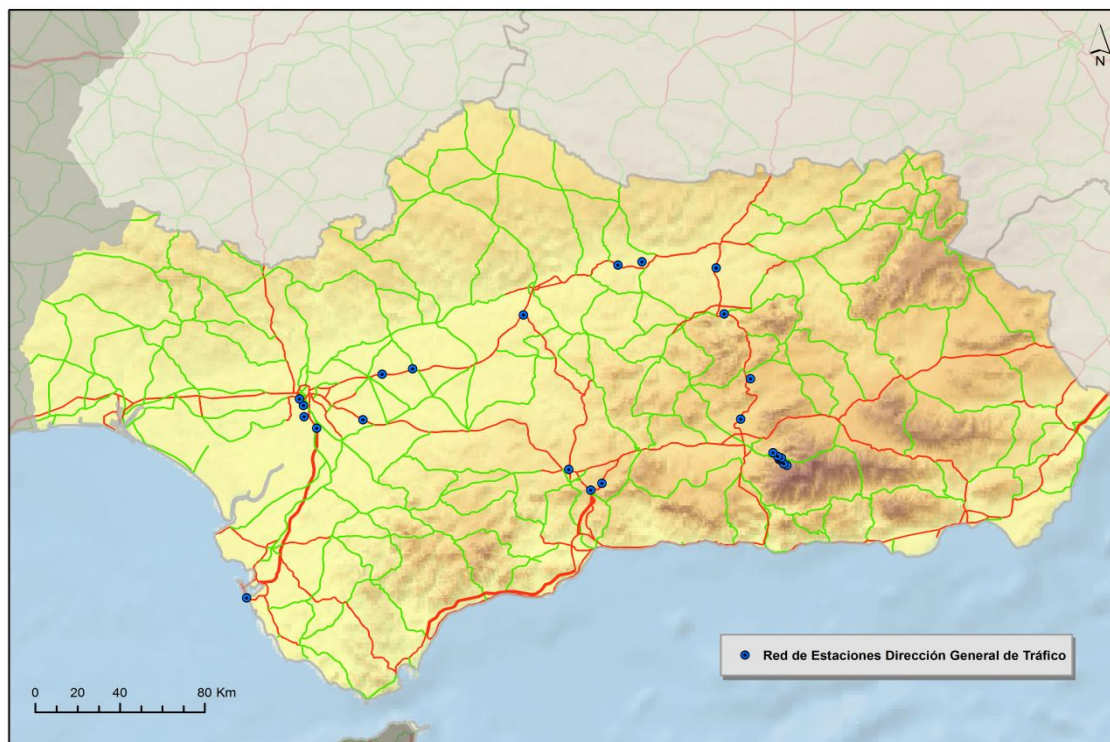
Fecha
Estación
Temperatura del aire (°C)
Humedad (%)
Presión (hPa)
Visibilidad (m)
Intensidad precipitación (mm/h)
Cantidad precipitación (l/m <sup>2</sup> )
Naturaleza de las precipitaciones
Altura de la capa de agua (mm)
Altura de la capa de nieve (mm)
Velocidad del viento (Km/h)
Dirección del viento (Grados)
Tipo de viento (Normal/Racheado)
Estado de la superficie del suelo
Temperatura superficie del suelo (°C)
Temperatura de congelación (°C)
Temperatura del rocío (°C)
Temperatura de subsuperficie (°C)
Salinidad (%)
Rad global (w/m <sup>2</sup> )
Tiempo presente

Como podemos apreciar en la tabla anterior estas estaciones miden una gran cantidad de variables escasamente medidas, por lo que, a pesar de su que tienen una localización desigual y su número no es muy elevado, 25, puede proporcionar una información muy útil sobre fenómenos climáticos muy poco conocidos, y, a veces su emplazamiento responde a la experiencia empírica de zonas donde tienen especial relevancia por sus consecuencias, como puede ser el caso de heladas, nieves, nieblas que dificultan la circulación por carretera.

Destacar la concentración de 6 estaciones en la carretera A-365 a Monachil, un pueblo situado a 8 kilómetros de Granada donde se sitúa la estación de esquí y se concentran las infraestructuras de alojamiento y hoteles para el turismo de Sierra Nevada (Figura 44.7)



Figura 44.7. Estaciones de la Dirección General de Tráfico en Andalucía.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la DGT.

Igualmente hemos contactado con otras empresas, como Endesa o Abengoa y con parques eólicos, con resultados similares en los casos en que se ha obtenido respuesta.

Rompiendo con lo habitual en este tipo de redes y observatorios privados, algunas de ellas son accesibles a través del Subsistema CLIMA, como la red de CETURSA (en Sierra Nevada), que consta de cinco estaciones. También, bajo el código PART, el subsistema CLIMA da acceso a datos de ocho estaciones de propiedad particular.

No podemos finalizar este apartado dedicado a redes de observación privadas, sin mencionar la iniciativa de **Meteoclimatic**, que entraría en lo que podemos denominar, “redes amateur”. Tal y como se define a sí misma, es una “gran red de estaciones meteorológicas automáticas no profesionales en tiempo real”. Su objetivo es convertirse en un lugar útil para consultar datos climáticos y hacer un seguimiento del tiempo y el clima en su ámbito de cobertura, que incluye la Península Ibérica además de las Islas Canarias, las Baleares, el sur de Francia y el norte de África en torno al Estrecho de Gibraltar (Meteoclimatic, 2015).

En la actualidad (septiembre 2015) forman parte de Meteoclimatic 1.650 estaciones en total, de las que el 37% son auditadas; se clasifican de acuerdo con la calidad de sus datos y la evaluación que se hace de sus instalaciones. El 25.3% del total de estaciones



se consideran de calidad destacada; hay un 10% que miden precipitación y tienen el sello Meteoclimatic de calidad.

La ubicación de las estaciones Meteoclimatic en Andalucía se muestra en la Figura 45.7, Como se puede observar, al tratarse de una red amateur, y por tanto voluntaria, sin diseño previo, presenta evidentes vacíos de información y gran concentración de estaciones en las zonas urbanas más pobladas. Por otra parte, la web de Meteoclimatic sólo ofrece, de forma directa, la información más actualizada de cada estación, no series históricas. No disponemos de información sobre la posibilidad de acceder a las series de datos completas, que sería de interés para la realización de nuestro trabajo. En cualquier caso, es una posibilidad más, muy prometedora, en una época en donde la “ciencia ciudadana” está empezando a desarrollarse de forma consciente.

**Figura 45.7. Ubicación de las estaciones integradas en Meteoclimatic en Andalucía (20/09/2015).**



Fuente: Meteoclimatic, 2015.

En conclusión, podemos decir que, como ha quedado demostrado en esta revisión general, en Andalucía tenemos disponible un volumen importante de datos climáticos en general y pluviométricos en particular, con los que poder iniciar cualquier tipo de investigación sobre este tema en el ámbito de nuestra comunidad. Además, disponemos del Subsistema CLIMA que facilita muchísimo el acceso a esta información. Las dificultades se encuentran, básicamente, en la falta de coordinación entre diferentes organismos lo que genera duplicidad de datos en determinadas zonas, quedando vacíos importantes de información.

#### 7.4. Conclusiones

El desarrollo histórico de la red de observación pluviométrica en Andalucía nos ha permitido constatar que, como expone Anduaga Egaña “desde la Ilustración al final de la postguerra no existe un modelo institucional homogéneo. Al contrario, los procesos de institucionalización se desarrollan en torno a los sistemas de observación, que emergen a partir de tradiciones, prácticas y disciplinas diferentes” (...) “En cualquier caso, los sistemas observacionales de la meteorología española carecieron de una confluencia que permitiese fijar objetivos comunes y coordinar los esfuerzos que se hacían” (Anduaga Egaña, 2012, p. 349).

Es indudable que, como cita M.F. Pita López, “la red de observación meteorológica mundial es una red muy antigua y diseñada con propósitos no por fuerza climáticos y, desde luego, no adaptados a las nuevas incógnitas y retos que plantea la Climatología actual. Ello determina que muchas de las variables hoy relevantes para la comprensión del funcionamiento del sistema climático (nubosidad, radiación solar, etc) apenas sean contempladas en dicha red. (...) Pero incluso las variables climatológicas más convencionales y con cobertura espacial más amplia como la temperatura y la precipitación, dejan extensos espacios sin cubrir y se nutren cada vez más de datos de reanálisis, los cuales son los únicos capaces de satisfacer las necesidades impuestas por el objetivo de la modelización del sistema climático en su conjunto” (Jeffrey et al, 2001 citado por Pita López 2007).

El conocimiento de los estados de la atmósfera es hoy un bien de primera necesidad. La navegación aérea, la seguridad medioambiental, la previsión de catástrofes naturales, el calentamiento global, las telecomunicaciones, la exploración espacial y la sociedad en general necesitan ese conocimiento en mayor o menor grado. Es por ello que, pese a las deficiencias constatables en la red de observación meteorológica española en general y andaluza en particular, estamos seguros de que en un futuro próximo serán abordadas y no tardarán en ser resueltas.

Prueba de ello es la importancia institucional de las redes de observación para el seguimiento del cambio queda patente en España desde la aprobación el 6 de octubre de 2006 el Consejo de Ministros del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), cuyo primer programa de trabajo, contemplaba “promover se incluía la consolidación de las redes de seguimiento ecológico a largo plazo e integración de los datos para detectar los efectos del cambio climático”.

Igualmente la inclusión en el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación aprobado en 2013, del denominado Reto en acción sobre cambio climático y eficiencia en la utilización de recursos y materias primas es otra prueba de ello, cuya primera prioridad establece: “El desarrollo y optimización de redes de observación

sistemática del clima en sus tres dominios: atmosférico, oceánico y terrestre, junto con las técnicas de análisis y modelización de datos” (MEC, 2012).

El retroceso de la red de observación y la necesidad de coordinación entre administraciones es tan evidente que se ha llevado a plantear la futura Ley del Servicio Meteorológico del Estado. Esta realidad recuerda las afirmaciones históricas sobre la necesidad de mantener y cuidar la red existente antes de llevar a cabo grandes cambios. Insinuaba la Comisión encargada de redactar las recomendaciones de cuáles debían ser las competencias del Instituto Central Meteorológico que, si el servicio meteorológico no podía transformarse o reorganizarse por completo, debería respetarse lo existente, dando algunas más facultades y recursos al Observatorio de Madrid y alentando al de San Fernando para que prosiga en su sistema de pronóstico del tiempo para su uso en la Marina. “Cuando se hayan completado los medios necesarios para el funcionamiento del Instituto será ocasión para la reforma y ampliación de los estudios meteorológicos en España. Pero intentarlo antes sería arriesgado, pudiéndose perder lo poco que ahora existe” (García de Pedraza y Giménez de la Cuadra, 1985, p. 37).

La futura Ley del Servicio Meteorológico del Estado nos parece un buen punto de partida para buscar solución al deterioro de la red histórica y buscar soluciones futuras. El Anteproyecto redactado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, tal como se recoge en la prensa a través de información de Europa Press (Europa Press, 2014), se reconoce que las instalaciones actuales no están coordinadas entre sí y que es necesario evitar duplicidades y rentabilizar las inversiones públicas en esta materia. Esperemos que dicha Ley (cuando se redacte definitivamente y finalmente entre en vigor) sirva realmente como instrumento para la coordinación entre administraciones y el diseño racional de una adecuada red de observación meteorológica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, R. F., HUFFMAN, G. J., CHANG, A., FERRARO, R., XIE, P.-P., JANOWIAK, J., RUDOLF, B., SCHNEIDER, U., CURTIS, S., BOLVIN, D., GRUBER, A., SUSSKIND, J., ARKIN, P. & NELKIN, E. 2003. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present). *Journal of Hydrometeorology*, 4, 1147-1167.
- ÁLVAREZ, V. R., SANCHEZ-LORENZO, A. & MARÍN, R. G. 2014. Creación de una base de datos confiseries largas de precipitación en la Región de Murcia y análisis temporal de la serie media anual, 1914-2013. *Revista de Climatología*, 14.
- ANDUAGA EGAÑA, A. 2012. *Meteorología, ideología y sociedad en la España contemporánea*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Agencia Estatal de Meteorología.
- AUER, I., BÖHM, R., JURKOVIĆ, A., ORLIK, A., POTZMANN, R., SCHÖNER, W., UNGERSBÖCK, M., BRUNETTI, M., NANNI, T., MAUGERI, M., BRIFFA, K., JONES, P., EFTHYMIADIS, D., MESTRE, O., MOISSELIN, J.-M., BEGERT, M., BRAZDIL, R., BOCHNICEK, O., CEGNAR, T., GAJIĆ-ČAPKA, M., ZANINOVIĆ, K., MAJSTOROVIĆ, Ž., SZALAI, S., SZENTIMREY, T. & MERCALLI, L. 2005. A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800–2002. *International Journal of Climatology*, 25, 139-166.
- BADILLO VALLE, V. 2013. Los aprovechamientos forestales en las Sierras de Cazorla, Segura y las Villas. *RuralCazorla.org*.
- BARCIELA, C., GIRÁLDEZ, J., RURAL, G. D. E. D. H. & LÓPEZ, I. 2005. Sector agrario y pesca. En: (COORD.), A. C. Y. X. T. (ed.) *Estadísticas históricas en España. Siglos XIX-XX*. Segunda Edición ed, Bilbao, Fundación BBVA.
- BRIONES, F. 1946. El pantano de Tranco de Beas. *Revista de Obras Públicas* [Online], 1. Disponible: [http://ropdigital.ciccp.es/detalle\\_articulo.php?registro=16406&anio=1946&numero\\_revista=2773](http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=16406&anio=1946&numero_revista=2773).
- CARRERAS, A. & TAFUNELL, X. 2005. *Estadísticas históricas en España* Bilbao, Fundación BBVA. Disponible: <http://www.fbbva.es/TLFU/dat/autores.pdf> [Acceso 28 de julio 2015].
- CHG. *Historia* [Online]. Confederación Hidrográfica del Gualaquivir. Disponible: <https://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/elOrganismo/historia/>.

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015a. Red de estaciones agrometeorológicas de Andalucía. Servicio de información agroclimática. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/estadisticas/agrarias/servicio-de-informacion-agroclimatica/red-de-estaciones-agrometeorologicas-de-andalucia.html> [Acceso 13 septiembre, 2015].

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015b. ¿Qué es la RAIF? Red de Alerta e Información Fitosanitaria. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/raif/que\\_es\\_raif/](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/raif/que_es_raif/) [Acceso 17 septiembre, 2015].

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015c. Consulta avanzada de datos climáticos. Datos climáticos. Disponible en: <https://ws142.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/fit/clima/datos.horarios.do> [Acceso 18 septiembre, 2015].

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015d. Mapa de estaciones. Datos climáticos. Disponible en: <https://ws142.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/fit/clima/inicio.do> [Acceso 18 septiembre, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. Junta de Andalucía, 2015a. Subsistema CLIMA. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/> [Acceso 22 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015b. ¿Qué es la Rediam? Red de Información Ambiental de Andalucía. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.aedc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=c9587d087270f210VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang\\_es](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.aedc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=c9587d087270f210VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang_es) [Acceso 22 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015c. Subsistema CLIMA. El clima, subsistema de Información de Climatología Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente. Introducción. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_introduccion.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_introduccion.jsp) [Acceso 22 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015d. Subsistema CLIMA: Consulta de datos. Subsistema de información de climatología

ambiental. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/menu\\_consultas.jsp?b=s](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/menu_consultas.jsp?b=s) [Acceso 22 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015e. Conozca el CLIMA. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_menu\\_sistema.jsp?b=s](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_menu_sistema.jsp?b=s) [Acceso 23 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015f. Redes integradas en el CLIMA. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_redes\\_integradas.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_redes_integradas.jsp) [Acceso 23 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015g. Red de estaciones meteorológicas en Andalucía. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_red\\_sistemas.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_red_sistemas.jsp) [Acceso 25 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015h. Datos básicos 2014. Medio Ambiente en Andalucía. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/rediam/productos/Publicaciones/datos\\_basicos\\_2014/datosbasicos2014html/index.html#4](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/productos/Publicaciones/datos_basicos_2014/datosbasicos2014html/index.html#4) [Acceso 25 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015i. Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía. La calidad del aire en Andalucía. Disponible en:  
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=a6a92e62ea1a3210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=9638282747fcc310VgnVCM2000000624e50aRCRD> [Acceso 26 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015j. Configuración de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía, 2015. Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambientales/atmosfera/calidad\\_aire/RVCCAA\\_2015.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/atmosfera/calidad_aire/RVCCAA_2015.pdf) [Acceso 26 agosto, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015k. Red del Espacio Natural Protegido de Sierra Nevada. Consulta de datos meteorológicos del sistema. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redEspecifica.jsp?c\\_red=ENPSN](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redEspecifica.jsp?c_red=ENPSN) [Acceso 18 septiembre, 2015].

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015l. Información de las distintas redes del sistema. Consulta de datos meteorológicos del sistema. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redes.jsp> [Acceso 19 septiembre, 2015].

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA, 2007. Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, BOJA no 143 del 20/07/2007; BOE 09/08/2007, páginas 34118 a 34169. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-15158](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-15158)

DEL MORAL ITUARTE, L. 1991. *La obra hidráulica en la Cuenca Baja del Guadalquivir, siglos XVIII-XX: gestión del agua y organización del territorio*. Tesis, Universidad de Sevilla.

DEL MORAL ITUARTE, L. Política hidráulica y desequilibrios territoriales en España: historia y perspectivas. Agua, territorio y paisaje: de los instrumentos programados a la planificación aplicada: V Congreso Internacional de Ordenación del Territorio, 2009. Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio FUNDICOT.

DÍAZ, Á. A. V. & RIVERA, J. F. O. 2005. Paisajes coloniales en el Bajo Guadalquivir. Origen, evolución y carácter patrimonial. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*.

DOÑANA, I. R. *Clima y Meteorología* [Online]. La Estación Biológica de Doñana (EBD). CSIC. Disponible: <http://www.ebd.csic.es/web/icts-rbd-donnana/clima-y-meteorologia> [Acceso 24 de septiembre 2015].

DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA, 2009. El Programa S.A.I.H: Descripción y Funcionalidad. El presente y futuro del sistema. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/SAIH\\_WEB\\_MMA\\_V301109\\_tcm7-28827.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/SAIH_WEB_MMA_V301109_tcm7-28827.pdf) [Acceso 19 septiembre, 2015].

- ESTESO VICTORIO, J.E. (Coordinador), 2003. Capítulo 3. Clima e información meteorológica. En Plan Infoca. Un plan de acción al servicio del monte mediterráneo andaluz. Sevilla, pp. 48–63. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Patrimonio\\_Natural.\\_Uso\\_Y\\_Gestion/Montes/Incendios\\_Forestales/plan\\_infoca/Cap03\\_clima\\_informacion\\_meteorologica.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural._Uso_Y_Gestion/Montes/Incendios_Forestales/plan_infoca/Cap03_clima_informacion_meteorologica.pdf) [Acceso 26 agosto, 2015].
- EUROPA PRESS, 2014. El Gobierno fija por ley la autoridad única estatal de la Aemet frente a otros servicios meteorológicos. El Mundo. Disponible: <http://www.elmundo.es/espana/2014/02/12/52fba73e22601d5e228b457c.html> [Acceso 17 agosto, 2015].
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. & GIMÉNEZ DE LA CUADRA, J. M. 1985. *Notas para la historia de la meteorología en España*, Madrid, Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones.
- GIL OLCINA, A. & OLCINA CANTOS, J. 1997. Climatología general. *Ariel, Barcelona*, 19.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., BRUNETTI, M. & DE LUIS, M. 2011. A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005). *International Journal of Climatology*, 31, 715-731.
- GONZÁLEZ QUIJANO, P. M. 1946. *Mapa pluviométrico de España*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Juan Sebastián Elcano, 574.
- IECA. *Atlas de la historia del territorio de Andalucía* [Online]. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Consejería de Economía y Conocimiento. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/atlasterritorio/at/atlas\\_presenta.html](http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/atlasterritorio/at/atlas_presenta.html) [Acceso 1 de agosto 2015].
- IGLESIAS CAMPOS, A. 2003. *Gibraltar (1813-2000). Dinámica climática. Las series más largas de observación climatológicas en el sur de la Península Ibérica*. Trabajo Fin de Carrera (inédito), Universidad de Sevilla.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, 2015a. Red de Información Agroclimática de Andalucía. IFAPA. Servicios. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web/ifapa/servicios/redagroclimatica> [Acceso 13 septiembre, 2015].
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, 2015b. Estaciones agroclimáticas. Estaciones agroclimáticas. Disponible en:



<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController> [Acceso 17 agosto, 2015].

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, 2015c. ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS. Estaciones agroclimáticas. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController> [Acceso 17 agosto, 2015].

LÓPEZ GÓMEZ, A. 2001. Mapas pluviométricos de España hasta mediados del siglo XX. En: GIL OLCINA, A. & MORALES GIL, A. (eds.) *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Alicante, Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante,15-47.

NADAL, F. & URTEAGA, L. 1990. *Cartografía y Estado: los mapas topográficos nacionales y la estadística territorial en el siglo XIX* [Online]. Barcelona: Universidad de Barcelona. Disponible: <http://www.ub.es/geocrit/geo88.htm> [Acceso 23 de febrero 2005].

NAREDO, J. M. 2006. La encrucijada de la gestión del agua en España. En: CUADRAT PRATS, J. M. (ed.) *El agua en el siglo XXI: gestión y planificación* Zaragoza., Institución Fernando El Católico. Excma. Diputación de Zaragoza.

NEBEKER, F. 1995. *Calculating the weather. Meteorology in the 20th century*, San Diego, Academic Press,255.

NEW, M., TODD, M., HULME, M. & JONES, P. 2001. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, 21, 1889-1922.

MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015a. SIAR: Sistema de información agroclimática para el regadío. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Disponible en: <http://eportal.magrama.gob.es/websiar/Inicio.aspx> [Acceso 17 agosto, 2015].

MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015b. Sistema Automático de Información Hidrológica. SAIH. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/saih/> [Acceso 19 septiembre, 2015].

MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015c. Programa de Seguimiento del Cambio Global. Red de Parques Nacionales. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/> [Acceso 20 septiembre, 2015].

- MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015d. Consulta de datos - Red de Seguimiento del Cambio Global. Red de Parques Naturales. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/datos-seguimiento.aspx> [Acceso 20 septiembre, 2015].
- METEOCLIMATIC, 2015. Meteoclimatic. Disponible en: <http://www.meteoclimatic.net/index/pg.1.36.html> [Acceso 20 septiembre, 2015].
- ORTEGA CANTERO, N. 1984. Las propuestas hidráulicas del reformismo republicano: del fomento del regadío a la articulación del Plan Nacional de Obras Hidráulicas. *Agricultura y sociedad*, 109-152.
- PALOMARES, M. 2012. AEMET a lo largo de su historia. En: AEMET (ed.) *Día Meteorológico Mundial de 2012 (125 aniversario del Servicio Meteorológico español)*. Agencia Estatal de Meteorología.
- PÉREZ, F. F., BOSCOLO, R., BLADE, I., CACHO, I., CASTRO-DÍEZ, Y., GOMIS, D., SAMPERIZ, G., MIGUEZ-MACHO, G., RODRÍGUEZ-FONSECA, B. & RODRIGUEZ-PUEBLA, C. 2010. *Clima en España: pasado, presente y futuro*, Ministerio de Ciencia e Innovación. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible: <http://hdl.handle.net/10261/23600>.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2007. Horizontes y retos de la ciencia climática. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 553-560.
- PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR-ALBA, M., CAMARILLO NARANJO, J. M. & CORZO TOSCANO, M. 2002. Control, seguimiento y explotación del banco de datos de información climática y meteorológica de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Puesta en marcha del sistema de información meteorológico ambiental. Sevilla, Universidad de Sevilla. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- RAMOS GOROSTIZA, J. L. 2001. La formulación de la política hidrológica en el siglo XX: ideas e intereses, actores y procesos políticos. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 126-151.
- RBD. *Estación Manual Palacio de Doñana (EM05)* [Online]. RESERVA BIOLÓGICA DE DOÑANA. Disponible: <http://www.rbd.ebd.csic.es/mediofisico/parametrosmeteorologicos/palaciomanual/em05.htm> [Acceso 10 de junio 2010].

- REDIAM, 2015. Visor del subsistema CLIMA. Disponible en: <http://www.climasig.es/visor.phtml> [Acceso 23 agosto, 2015].
- SALADIÉ, Ò., BRUNET, M., AGUILAR, E., SIGRÓ, J. & LÓPEZ, D. 2007. *Observar la lluvia en Cataluña: 150 años de registros: Creación de la base de datos de precipitación mensual ajustada del sector nororiental de la Península Ibérica (1850-2000)*, Publicacions Universitat Rovira i Virgili.
- SAPIANO, M. R. P., SMITH, T. M. & ARKIN, P. A. 2008. A new merged analysis of precipitation utilizing satellite and reanalysis data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, n/a-n/a.
- TAPIADOR, F. J., TURK, F. J., PETERSEN, W., HOU, A. Y., GARCÍA-ORTEGA, E., MACHADO, L. A. T., ANGELIS, C. F., SALIO, P., KIDD, C., HUFFMAN, G. J. & DE CASTRO, M. 2012. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*, 104–105, 70-97.
- World Meteorological Organization, 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: CIMO guide, Geneve. Disponible en: [https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf).
- XIE, P. & ARKIN, P. A. 1997. Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2539-2558.

# CAPITULO 8

## REGIONALIZACIÓN PLUVIOMÉTRICA

### **8.1. Resultados del análisis exploratorio para la elección metodológica**

#### **8.1.1. Análisis exploratorio sobre el efecto de los datos de entrada**

##### **8.1.1.1. Valoración del periodo de estudio y número de estaciones**

##### **8.1.1.2. Efecto de la estacionalidad de las series de precipitación**

##### **8.1.1.3. Inclusión de nuevas variables**

##### **8.1.1.4. Valoración de las pruebas**

#### **8.1.2. Análisis exploratorio metodológico sobre el cluster jerárquico**

##### **8.1.2.1. Diferentes distancias de similitud entre elementos**

##### **8.1.2.2. Diferentes tipos de algoritmos de agrupamiento**

##### **8.1.2.3. Análisis de componentes principales y cluster**

#### **8.1.3. Selección metodológica final**

### **8.2. Regionalización pluviométrica final**

#### **8.2.1. Presentación general**

#### **8.2.2. Caracterización de las zonas**

##### **8.2.2.1. División en cinco zonas**

##### **8.2.2.2. División en nueve zonas**

### **8.3. Comparación con otras regionalizaciones**

### 8.1. Resultados del análisis exploratorio para la elección metodológica

El análisis de conglomerados es una técnica, fundamentalmente descriptiva, que no permite inferir a partir de una muestra, lo que constituye una de las razones que impide construir sistemas de clasificación generalizados. Se trata de un método basado en criterios geométricos que se utiliza como técnica exploratoria y que está muy condicionada por los datos de entrada.

Debido a que las soluciones no son únicas, pues la pertenencia de los elementos a un conglomerado depende de decisiones tomadas a lo largo de las diferentes etapas del análisis, como hemos visto en el capítulo 7, una de las formas de verificar la estabilidad y consistencia de los resultados es probar diferentes opciones y valorar las soluciones en su conjunto. Esta es la razón por la que planteamos llevar a cabo un análisis exploratorio metodológico que nos permitió decidir el procedimiento final. Presentamos a continuación los resultados de las pruebas realizadas.

Debido a que las soluciones no son únicas, pues la pertenencia de los elementos a un conglomerado depende de muchas decisiones tomadas a lo largo de las diferentes etapas del análisis, como hemos visto en el capítulo 7, una de las formas de verificar la estabilidad y consistencia de los resultados es probar diferentes opciones y valorar las soluciones en conjunto. Esta es la razón por la que planteamos realizar un análisis exploratorio metodológico que nos permitió decidir el procedimiento final.

Ya que son muchas las pruebas realizadas, en este capítulo de presentación de resultados, hemos incluido una serie de cuestiones a tener en cuenta, a fin de que la exposición sea lo más clara y sencilla posible. Son las siguientes:

#### a) Zonas pluviométricas

En las propuestas de regionalización de cada una de las pruebas iremos encontrando ámbitos pluviométricos que se repiten, por lo que intentaremos darles la misma denominación, aunque los límites no coincidan exactamente de un resultado a otro. Para designar estas zonas, adaptadas a los rasgos pluviométricos más destacados en cada una de ellas, nos basamos, fundamentalmente, en la clasificación climática de Andalucía propuesta por Pita López (Pita López, 2003).

#### b) Descripción y comentario.

Los resultados no serán descritos en detalle sino sintetizados, cada uno de ellos, para que no resulten reiterativos; en cada etapa destacaremos los rasgos singulares o destacables de cada una de las aproximaciones. En la propuesta de

regionalización final, ampliaremos nuestros comentarios y describiremos en detalle las zonas pluviométricas delimitadas.

**c) Resultados gráficos.** Gran parte de las salidas gráficas se presentaran en anexos para mantener en el texto únicamente los resultados más destacables, especialmente la representación espacial de los grupos obtenidos en cada una de las pruebas de clasificación que aporta una visión más clara del sentido geográfico y climático de cada una de ellas.

**d) Validación.**

Utilizaremos un test estadístico, basado en el índice medio de Jaccard (Jaccard, 1901) para evaluar la consistencia estadística de las pruebas y la estabilidad del análisis de conglomerados. El número de Jaccard mide la estabilidad de un *cluster*, es decir, las veces que los elementos *cluster* aparecen agrupados repitiendo la clasificación con diferentes conjuntos de muestras (procedentes de un *bootstrap* de la muestra original). Este test evalúa la frecuencia con la que cada uno de los grupos obtenidos en un análisis *cluster* jerárquico y a un nivel determinado se reproduce en la clasificación cuando se llevan a cabo diferentes muestreos de los datos.

Resumimos los valores del índice medio de Jaccard, determinados por Henning (Hennig, 2007) en la siguiente tabla (Tabla 1.8), en donde cuanto mayor sea el valor menos probable es que la formación del *cluster* sea debida al azar o a un sesgo de muestreo, y por consiguiente, más estable su consistencia estadística.

**Tabla 1.8. Interpretación de los valores del índice medio de Jaccard según Henning**

Valor	Interpretación
< 0.5	Los <i>clusters</i> pueden haberse formado aleatoriamente
0.6 < 0.75	Pueden existir patrones en los datos
0.75 < 0.85	Los <i>clusters</i> pueden considerarse estables ante el remuestreo
≥ 0.85	Los <i>clusters</i> son altamente estables

Advertir también, de cara a la interpretación de los resultados, que la prueba de *bootstrap* indica el número de repeticiones que se realizan sobre mil en la que se alcanza la misma configuración de agrupamiento. Por esta razón, cuanto más alto sea el valor de las repeticiones, más estable es el grupo; se puede establecer que por encima de las 650 los índices de Jaccard se sitúan en valores aceptables ante el remuestreo.

**e) Síntesis final.**

Resumiremos al final de este capítulo, todos los procedimientos que se van a utilizar y que serán presentados de forma conjunta a fin de ofrecer una visión global y de este modo hacer una valoración de los resultados obtenidos.

Hemos realizado dos grandes tipos de ensayos empleando en el primero la base de datos de la AEMET, que previamente hemos depurado, y MOPREDAS en la siguiente. La razón de esta elección es que deseábamos probar la posibilidad de introducir la máxima extensión de las series, algo que permite la utilización de *todo el banco de datos* AEMET, sin que las series tuviesen un mismo periodo temporal de referencia como ocurre con MOPREDAS.

Exponemos a continuación los resultados de las pruebas realizadas que presentan una secuencia y en donde se ha partido de consideraciones generales, como el efecto de las variaciones de los datos de entrada, a considerar en detalle las opciones metodológicas; de esta forma, llegamos a la regionalización final, con garantía de su estabilidad estadística así como de su coherencia geográfica y espacial.

**8.1.1. Análisis exploratorio sobre el efecto de los datos de entrada**

En esta primera fase, hemos realizado tres tipos de pruebas cada una con objetivos diferentes y empleando *nuestros datos AEMET* depurados, a fin de experimentar con el banco más completo pluviométrico de Andalucía y probar la posibilidad de introducir la máxima extensión de las series.

Somos conscientes de que al utilizar esta información no se garantizan los niveles de calidad y homogeneidad de MOPREDAS, efecto que también queríamos comprobar. Como comentamos en el capítulo de fuentes y datos, los análisis se iniciaron antes de disponer de la base MOPREDAS y su elección estuvo motivada, en parte, por los resultados que comentaremos a lo largo de este primer apartado del capítulo.

Describiremos los resultados más relevantes de cada una de estas etapas, presentando los restantes en los anexos. Todos estos análisis han sido realizados con el paquete estadístico *hclust.R del software R* (ver Anexo XX).

Sabemos que el AC no tiene una solución única y que los resultados están influenciados por las decisiones que se tomen durante el proceso de análisis. Con el fin de probar diferentes, realizamos diversas pruebas preliminares para evaluar los mejores resultados en el proceso de regionalización de la precipitación en Andalucía.

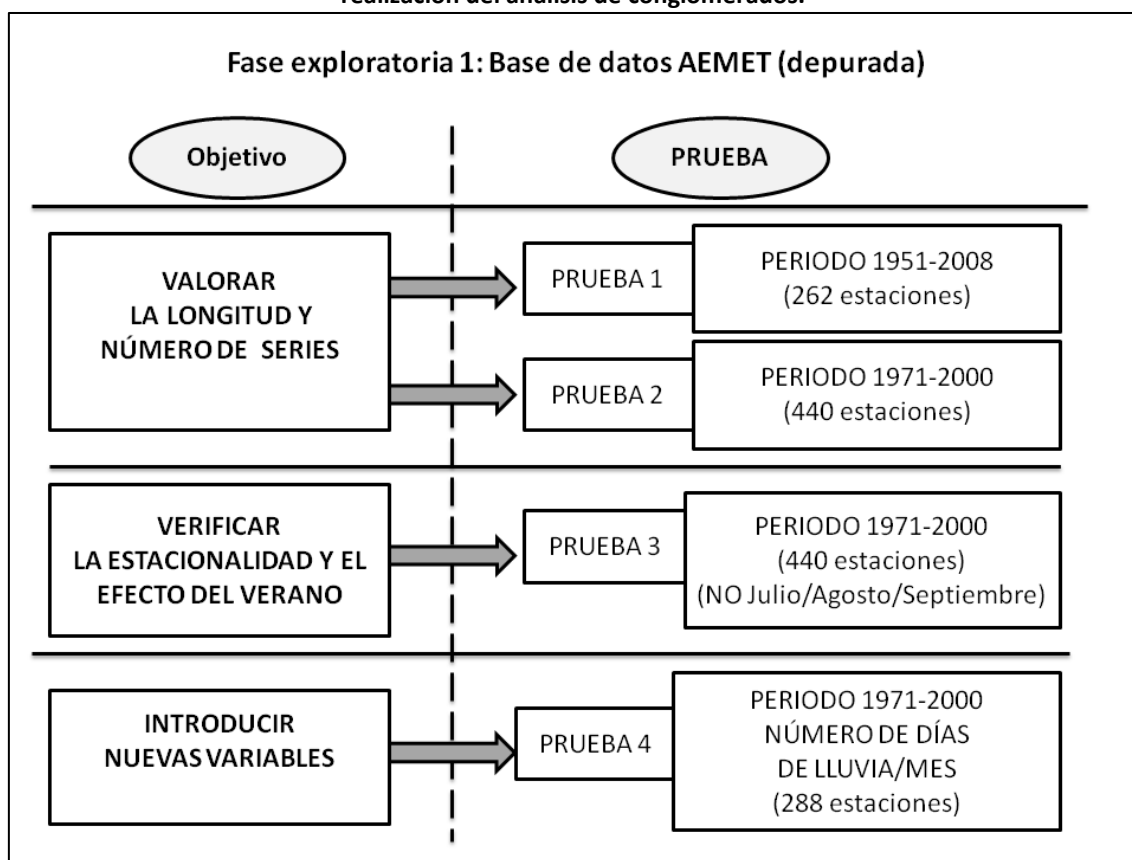
Partimos de un procedimiento jerárquico de agrupamiento ya que desconocemos, a priori, los grupos que se pueden identificar. A partir de aquí llevamos a cabo tres tipos

de ensayos, como comentamos en la metodología que corresponden a los apartados siguientes:

- **Prueba 1 y 2: Valoración del periodo de estudio y número de estaciones que se incluyen en el análisis.**
- **Prueba 3: Efecto de la estacionalidad de las series de precipitación.**
- **Prueba 4: Inclusión de nuevas variables.**

Incluimos el esquema de las pruebas cuyos resultados se van a exponer en este apartado (Figura 1.8).

**Figura 1.8. Esquema de la primera fase exploratoria sobre el efecto de los datos de entrada en la realización del análisis de conglomerados.**



Elaboración propia

### 8.1.1.1. Valoración del periodo de estudio y número de estaciones que se incluyen en el análisis.

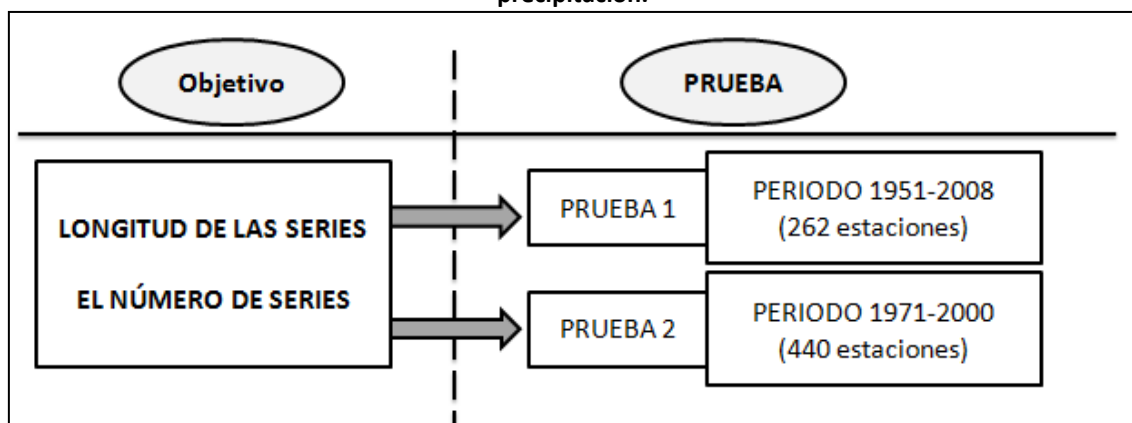
Las primeras pruebas pretendían valorar la importancia del periodo de observación que determina, a su vez, el número de estaciones cuyas series formaban parte del análisis. La extensión temporal de la base de datos resulta también una cuestión fundamental, ya que condiciona la localización espacial y la distribución de los puntos seleccionados que cumplan el periodo temporal exigido a las series. Está última



cuestión puede resultar relevante a la hora de establecer y delimitar los grupos, ya que la información será diferente según la muestra que resulte seleccionada.

Para analizar todas estas cuestiones se establecieron dos periodos diferentes que se corresponden con las pruebas 1 y 2 de la siguiente figura (Figura 2.8). Comentaremos los resultados, conjuntamente, a fin de evaluar el efecto del periodo de estudio y el número de estaciones que se incluyen en el análisis.

Figura 2.8. Pruebas para valorar el efecto de la extensión temporal y tamaño de la base de datos de precipitación.



Elaboración propia.

En ambas pruebas se ha utilizado la misma metodología para que los resultados sean comparables. Tal como figura en la Tabla 2.8 la elección ha consistido en un análisis *cluster* jerárquico, utilizando como distancia de similitud entre las series temporales el coeficiente de correlación de Pearson. La distancia se ha calculado como 1 menos el valor absoluto del coeficiente de correlación, de tal modo que cuanto mayor sea la correlación menor será la distancia. El método de aglomeración ha sido el enlace promedio (*Average linkage*) en el que la distancia entre *clusters* se calcula como la distancia media (o mediana) entre pares, utilizando las distancias, antes calculadas, entre individuos de los dos grupos.

Tabla 2.8. Procedimiento del análisis cluster empleado en las pruebas 1 y 2.

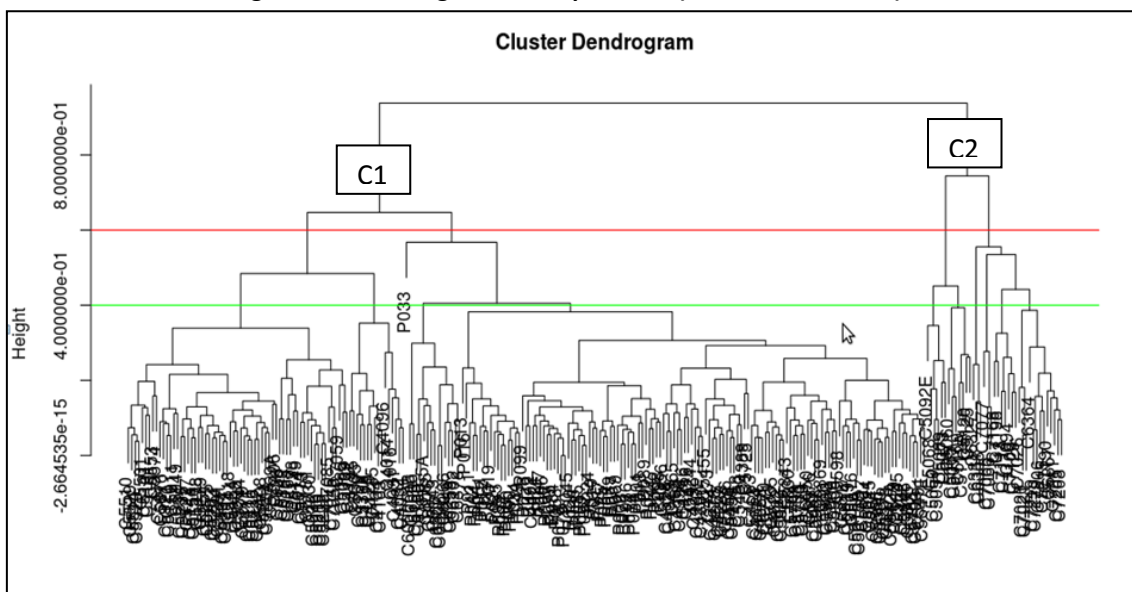
<i>Distancia</i>	<i>Tipo</i>
Medida de similitud entre elementos	Coefficiente de correlación de Pearson
Procedimiento de agrupamiento	Enlace promedio ( <i>Average linkage</i> )

A continuación describimos los resultados de estas pruebas que comentaremos, conjuntamente, al final de este epígrafe.

**PRUEBA 1. Periodo de referencia extenso (1951-2008).**

Se incluyen estaciones con registros continuos y series de calidad con más de 50 años de registro, componen el período más largo. Cumplen estos requisitos 262 observatorios (Figura 3.8). Tras realizar el AC obtenemos el siguiente dendrograma del proceso de formación de los grupos (En el anexo I pueden consultarse detalles de este análisis).

Figura 3.8. Dendrograma de la prueba 1 (Periodo 1951-2008).



Realizamos dos *cortes* correspondientes a las líneas de color: el primero correspondiente a la línea roja que da lugar a 4 clases principales y el segundo (línea verde) que divide las clases iniciales en 6 grupos finales. Como técnica exploratoria el análisis *cluster* es el más adecuado para la identificación de *outliers*, incluso detectó una estación con un comportamiento atípico que corresponde a la estación portuguesa P033.

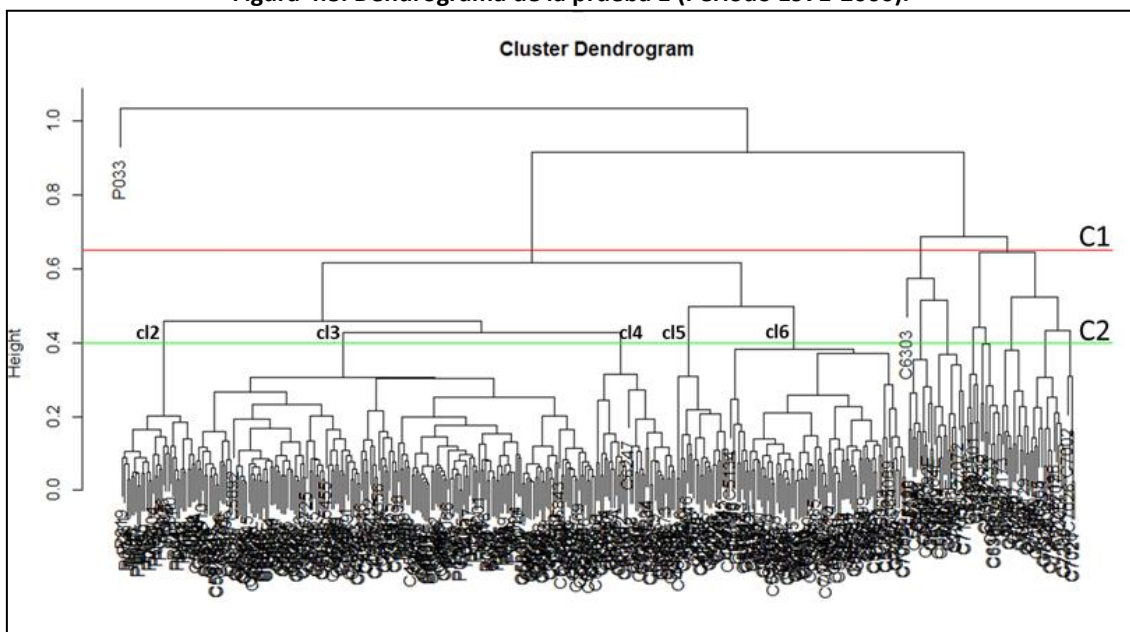
La primera división establece dos conjuntos de datos claramente diferenciados, el de la izquierda que hemos denominado *cluster 1* (C1) que agrupa a la mayor parte de las estaciones y que corresponde a todo el ámbito de influencia atlántica, y el *cluster 2* (C2), con un número menor de elementos situados en la zona mediterránea.

**PRUEBA 2. Periodo de referencia operacional (1971-2000).**

Hemos seleccionado este periodo de referencia de 30 años como normal operacional (siguiendo la terminología expuesta por Trewin (2007)). Un total de 440 estaciones cumplen el requisito de tener registros continuos en este periodo que, aunque más corto que el anterior, duplica el número de series para el análisis.

En la Figura 4.8 se presenta el dendrograma de este análisis, muy similar al anterior en su estructura, apareciendo claramente diferenciados los dos ámbitos, atlántico y mediterráneo en la primera gran división; la estación P033 vuelve a aparecer como *outlier*. En principio, el Servicio Hidrológico portugués garantiza la calidad de sus datos pero ante este resultado la estación fue analizada y eliminada del análisis.

Figura 4.8. Dendrograma de la prueba 1 (Periodo 1971-2000).

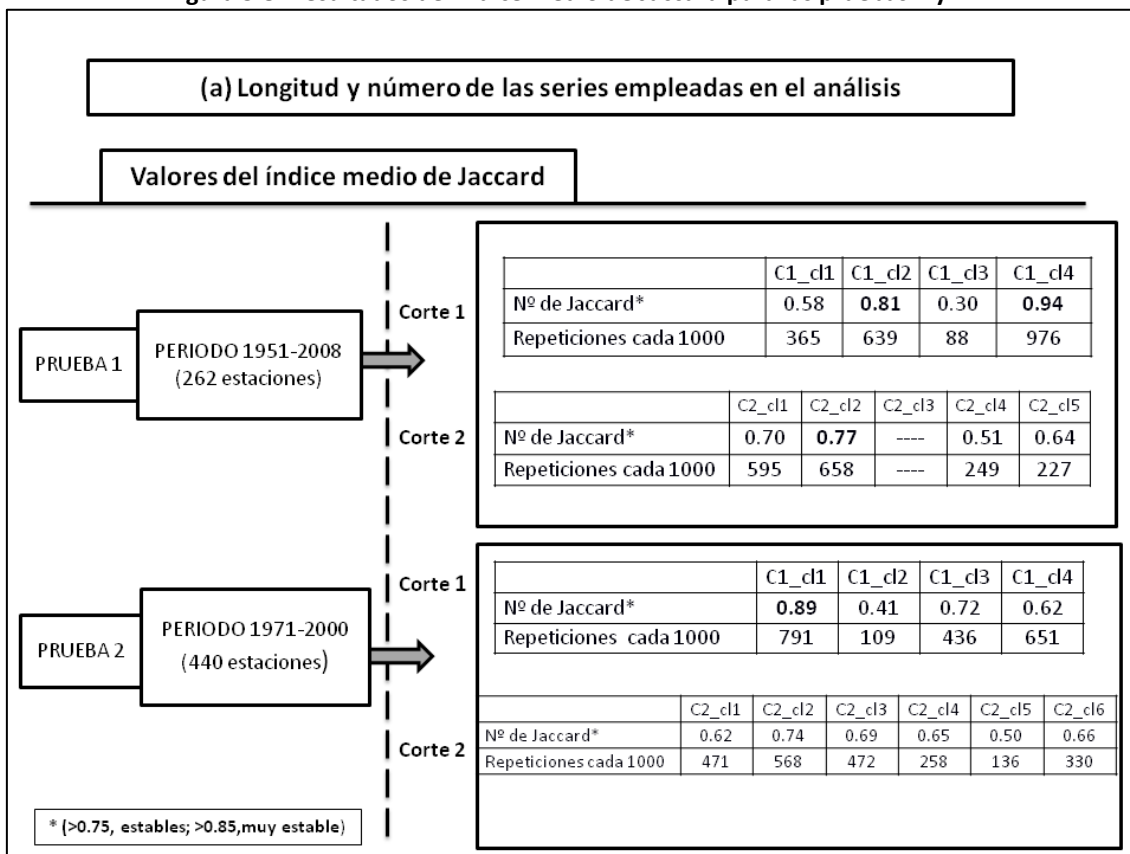


**COMPARACIÓN DE LAS PRUEBAS 1 Y 2** para valorar la importancia de la longitud de las series y el número de estaciones.

En la siguiente figura (Figura 5.8) se presentan los resultados del índice de Jaccard para ambas pruebas y las dos divisiones principales. En el primer corte aparece, en ambas pruebas, un grupo cuya estabilidad es muy alta (mayor de 0,85). En las divisiones subsiguientes los valores descienden para todas, indicando que puede haber patrones pero su estabilidad no está garantizada.

Si comprobamos el resultado espacial de ambas pruebas, representando los grupos finales obtenidos mediante un SIG, encontramos diferencias importantes que matizan los resultados estadísticos anteriores.

Figura 5.8. Resultados del índice medio de Jaccard para las pruebas 1 y 2.



Elaboración propia

Comparando ambos esquemas (Figura 6.8 y 7.8), podemos observar que la prueba 2 ofrece mejores resultados espaciales debido a que:

- Aparecen nuevas clases espaciales, por lo que la delimitación espacial de zonas homogéneas se amplía y, por ejemplo, se incluye una zona nueva en el Algarve portugués.
- Los grupos son espacialmente más coherentes y claros. No aparecen estaciones *mal clasificadas*, como se puede observar en la prueba 1 en existen algunos puntos de otros grupos (especialmente en la zona noreste).

Figura 6.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 1 (1951-2008).

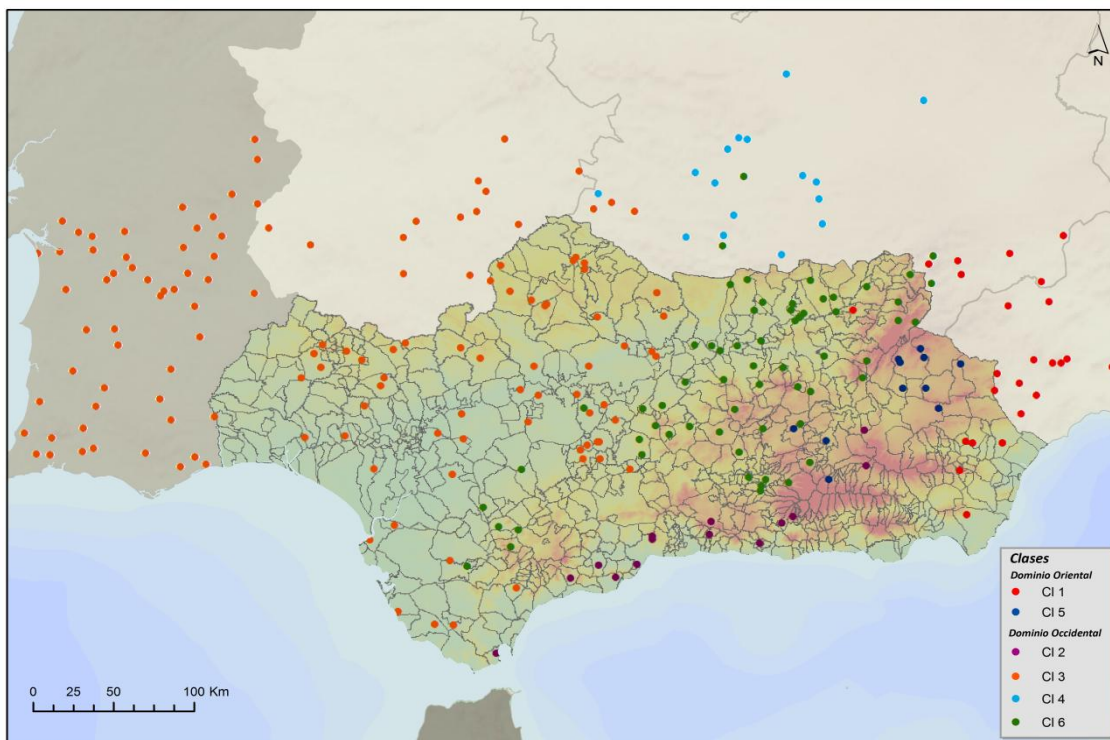
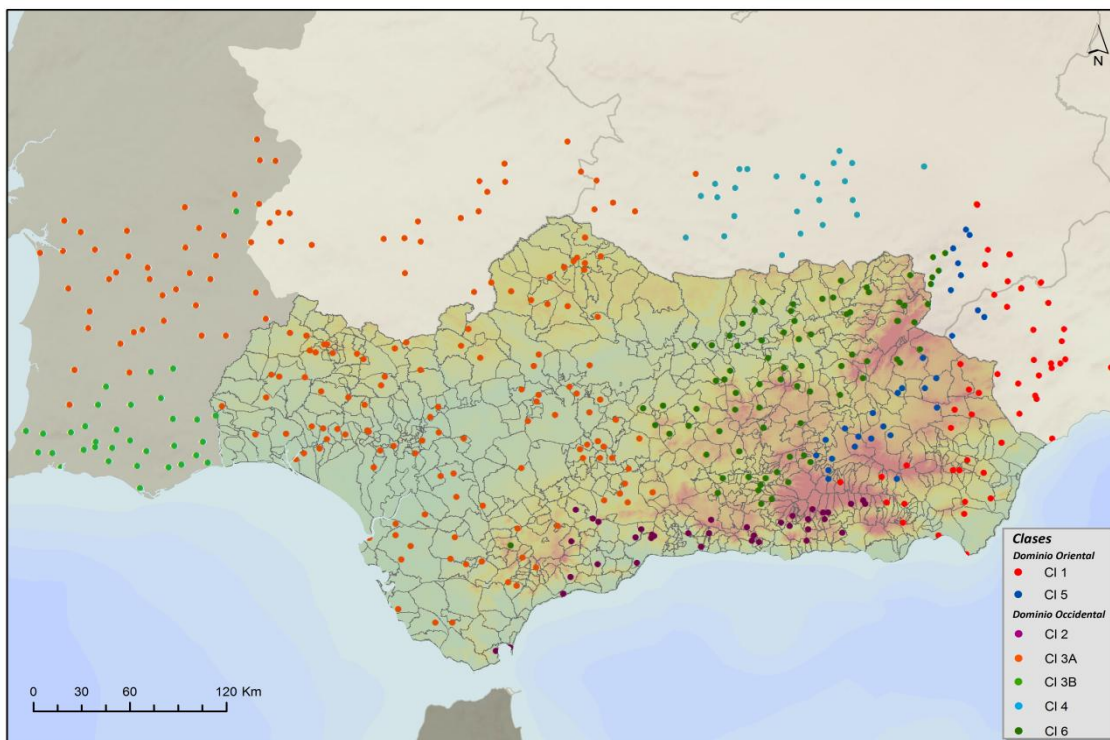


Figura 7.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 2 (1951-2008).



Destacar la singularidad del observatorio de Grazalema (5911) individualizado respecto al comportamiento pluviométrico de su entorno.

Las zonas pluviométricas que se delimitan, como resultado de estas dos pruebas son (Tabla 3.8):

**Tabla 3.8. Zonas pluviométricas identificadas en las pruebas 1 y 2.**

Zona	Clúster	Subzona	Límite
<b>Ámbito occidental</b>	Cl 3 A	Andalucía occidental	Hasta la provincia de Córdoba y límite de las Cordilleras Béticas
	Cl 3 B	Algarve	Costa hasta
	Cl 3 C	Cordillera Subbética	Interior Valle Guadalquivir, Sierras de Cazorla, Segura, Mágina hasta la vega de Granada
	Cl 2	Costa mediterránea	Desde el Estrecho de Gibraltar hasta Campo de Dalías
	Cl 4		Provincia Albacete
<b>Ámbito oriental</b>	Cl 5	Interior sistemas Béticos	Hoya de Baza y Guadix y Sierra de María
	Cl 1	Sudeste almeriense	Desde la Sierra de Gádor, Filabres hasta Murcia

En líneas generales, las zonas homogéneas se delimitan en ambas clasificaciones con nitidez, no obstante, basándonos en los valores de los ajustes de los cortes del *cluster* y en la distribución espacial de las clases, podemos afirmar que es preferible utilizar la matriz de serie temporal más corta, que contiene más estaciones. Por lo tanto, la densidad espacial es más relevante que la precisión que puede aportar, en el análisis, el empleo de series más largas de precipitación.

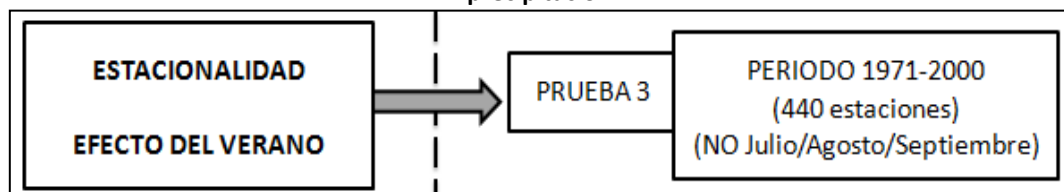
#### 8.1.1.2. Efecto de la estacionalidad en las series de precipitación

Aplicar el análisis de conglomerados sobre las serie de valores mensuales, puede contener información redundante, debido a la presencia de *estacionalidad*, sin embargo, puede presentar la ventaja de facilitar la identificación de zonas, debido a la existencia de un régimen de la precipitación diferente que se refleja en un patrón espacial distinto. Ya que el verano es la estación que mayor contraste presenta, realizamos una prueba de AC sólo para la estación estival a fin de valorar si la clasificación obtenida difiere significativamente de las anteriores, lo que indicaría que el comportamiento espacial es diferente y, por consiguiente, sería necesario realizar el análisis al menos a escala estacional.

Pita López y otros, aplicando igualmente un análisis *cluster*, aunque utilizando datos y procedimientos diferentes de análisis, llegaron a la conclusión de que las regiones pluviométricas parecían definirse mejor eliminando los meses estivales (Pita López *et al.*, 1999) por lo que queríamos verificar si con nuestra aproximación, tomando las series temporales completas, podíamos llegar a la misma conclusión.

Puesto que los ensayos anteriores han demostrado que es más importante el número de estaciones que el periodo de estudio, los datos que utilizaremos para esta Prueba 3, vuelven a ser las 440 estaciones con series que se extienden desde enero de 1971 hasta Diciembre 2000. Se eliminan los meses de verano (Junio, Julio y Agosto) para observar el efecto que tienen en el análisis (Figura 8.8).

Figura 8.8. Pruebas para valorar el efecto de la extensión temporal y tamaño de la base de datos de precipitación.



El procedimiento empleado en la aplicación del análisis de conglomerados es similar al de las pruebas 1 y 2 que se recoge en la siguiente tabla (Tabla 4.8):

Tabla 4.8. Procedimiento del análisis clúster empleado en la prueba 3.

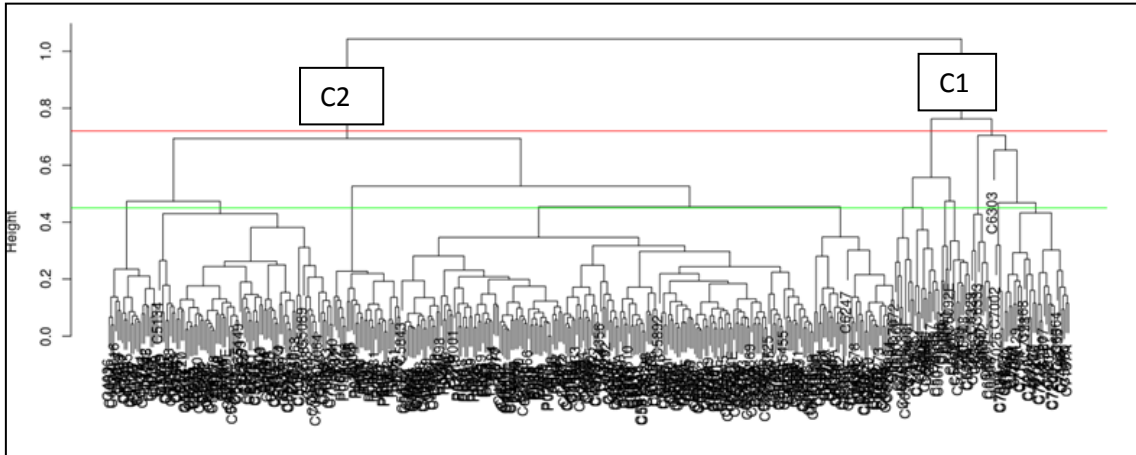
<i>Distancia</i>	<i>Tipo</i>
Medida de similitud entre elementos	Coficiente de correlación de Pearson
Procedimiento de agrupamiento	Enlace promedio ( <i>Average linkage</i> )

De nuevo obtenemos un dendrograma (Figura 9.8) muy similar a los anteriores, por lo que podemos deducir que los meses de verano, con un comportamiento diferente debido a la práctica ausencia de lluvias, no distorsionan los análisis. Posiblemente, la uniformidad en todo el territorio andaluz de este rasgo característico estival, explique que no se matice la clasificación, debido también a que los efectos locales de las precipitaciones convectivas de verano, quedan *ocultos* a escala mensual.

Tal como expone para su caso de estudio Romero y otros (1999), en una zona semiárida como la España mediterránea, hay una proporción muy alta de días totalmente secos. Por otro lado, una regionalización de las precipitaciones no busca caracterizar la escasez, la aridez, por lo que estos autores eliminaron, a escala diaria, aquellos días que registrasen menos de un 5% de lluvia (menos de 5 mm). En nuestro caso, podemos afirmar que se excluyen abundantes lluvias locales producidas por las células convectivas, aunque este tipo de precipitación no constituye el objeto de nuestra investigación que pretende identificar áreas de afinidad pluviométrica generalizada.



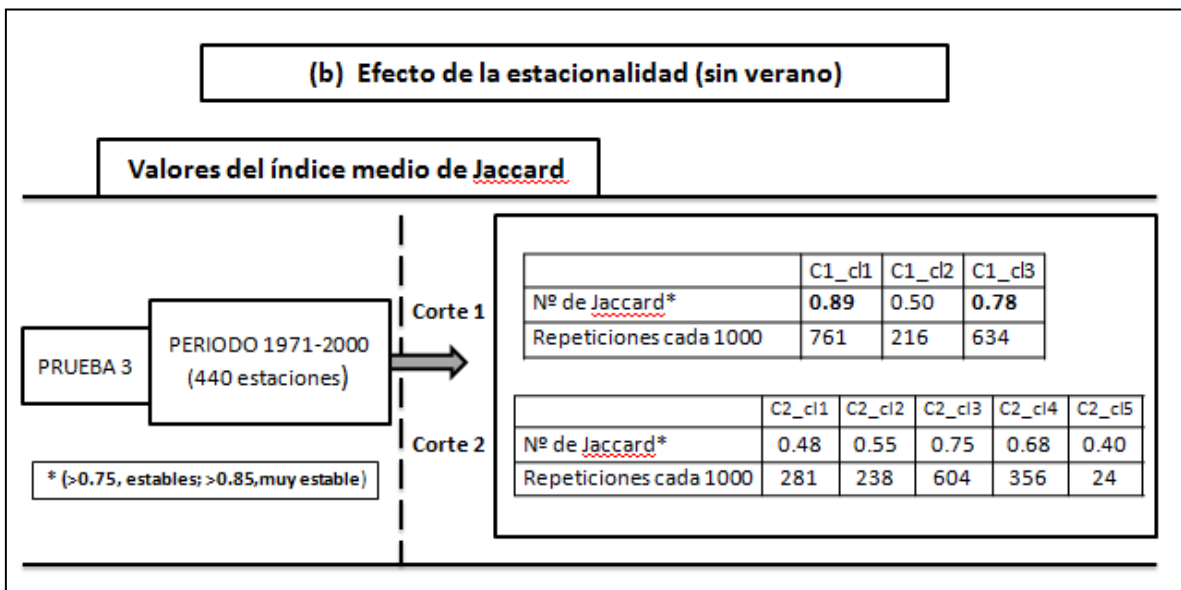
Figura 9.8. Dendrograma de la prueba 3 (Periodo 1971-2000) sin incluir el verano.



Volvemos a realizar dos divisiones: una primera, aproximadamente, a la altura 0,7 (línea roja) y una segunda a una distancia de 0,45 (línea verde) en el dendrograma. El último corte, divide las dos clases iniciales (C1 y C2) en 2 grupos y un *outlier* (Estación 6303). Por lo que con este doble corte obtenemos 6 clases, 2 de ellas procedentes del primer corte (zona oriental) y 4 del segundo (ámbito occidental).

En la figura siguiente (Figura 10.8), se presentan los resultados de la estabilidad de los grupos medidos con el índice de Jaccard. En esta prueba del primer corte aparecen tres grupos, dos de ellos son válidos y el segundo *clúster*, perteneciente a la zona oriental es el no ofrece un valor (0,50) que garantiza su estabilidad. Los grupos finales presentan un valor de Jaccard que avala la clasificación, pero sin mejorar los resultados respecto a las anteriores pruebas.

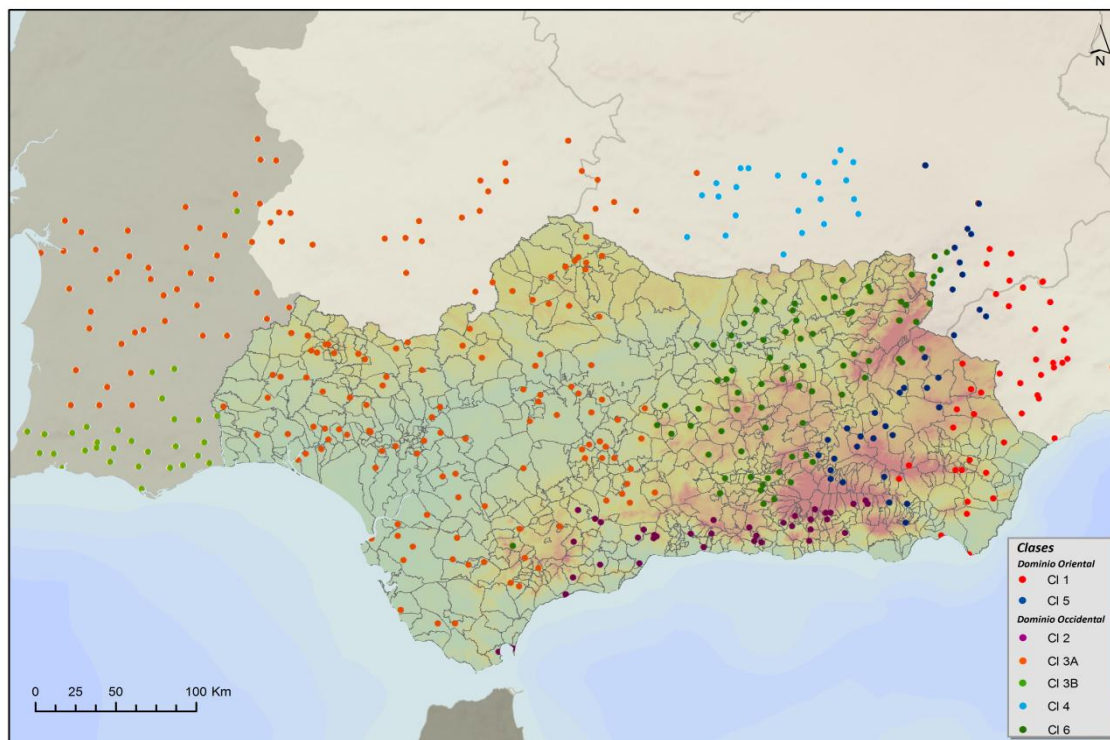
Figura 10.8. Resultados del índice medio de Jaccard para las prueba 3.





En la siguiente figura (Figura 11.8), la representación espacial repite exactamente la misma configuración que la prueba 2 anterior, en la que se identifican las mismas zonas pluviométricas, por lo que no repetiremos su descripción.

**Figura 11.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 3 (1971-2000).**



Por lo tanto, como resultados de esta tercera prueba podemos concluir, basándonos en los valores de los ajustes de los cortes del *clúster* y en la distribución espacial de las clases, que no es relevante el efecto de los meses de verano, ya que como pensábamos, la representación espacial y los grupos que se delimitan son prácticamente idénticos. Concluimos así que la estacionalidad ayuda a discriminar los grupos por lo que no es necesario eliminar esta *componente* de las series.

Sin embargo, esto no implica que si realizáramos un análisis de estos meses, presentarían una distribución y delimitación de grupos diferente, pero entonces, como comentan Romero y otros, estaríamos regionalizando otro rasgo climático de la región: la escasez pluviométrica estival.

### 8.1.1.3. Inclusión de nuevas variables

Nuestra regionalización sólo utiliza la precipitación mensual, de ahí que nos planteáramos si la utilización de otras variables de apoyo, podría mejorar la identificación de regiones. En la base de datos de la AEMET de Andalucía disponemos de otra variable para cada estación: el número de días de precipitación al mes. Esta es otra de las razones por la que hicimos estas primeras pruebas con la citada base de

datos, ya que MOPREDAS sólo ofrece los valores mensuales. Tampoco disponemos de esta variable para las estaciones de Portugal, por lo que la cobertura espacial de este análisis se limita a Andalucía.

Nos planteamos que esta variable podría facilitar la distinción entre áreas ligadas a fenómenos convectivos con una mayor influencia de las precipitaciones de carácter frontal; de esta forma se mejora la zonificación pluviométrica de Andalucía y se aporta información sobre los mecanismos predominantes en el espacio sobre la generación y formación de lluvias.

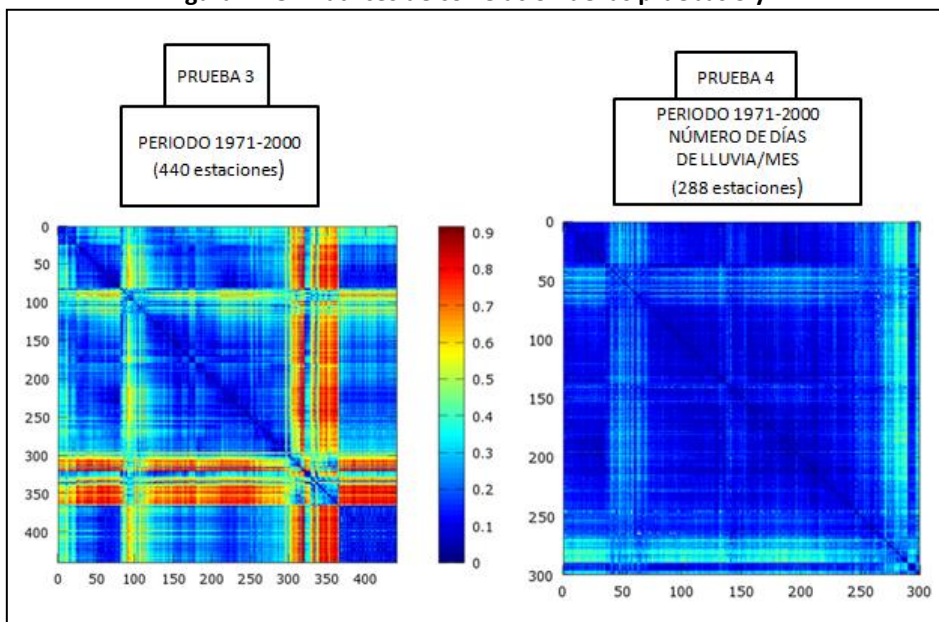
En esta prueba 4 los datos vuelven a ser los mismos, las series temporales desde enero de 1971 hasta Diciembre 2000 pero como variable tendría, únicamente, el número de días de lluvia mensual sin combinar con la cantidad de precipitación (11 estaciones tienen que eliminarse por falta de datos) por lo que se cuenta finalmente con 288 estaciones. Queríamos sopesar el beneficio añadido que podría aportar, ya que el costo en términos de organización de los datos de entrada, generación de matrices de distancia etc. resultaría elevado y se complejizarían mucho los análisis (Tabla 5.8).

**Tabla 5.8. Procedimiento del análisis clúster empleada en la prueba 4.**

<i><b>Distancia</b></i>	<i><b>Tipo</b></i>
Medida de similaridad entre elementos	Coefficiente de correlación de Pearson
Procedimiento de agrupamiento	Enlace promedio ( <i>Average linkage</i> )

En los análisis anteriores no hemos mostrado las matrices de correlación de cada una de las pruebas que pueden consultarse en el ANEXO 1. Sin embargo queríamos mostrar cómo para esta variable, los valores del coeficiente de correlación de Pearson en valor absoluto, disminuyen notablemente encontrándose todos por debajo de 0,4, por lo que los resultados no mejoran (Figura 12.8).

Figura 12.8. Matrices de correlación de las pruebas 3 y 4.



Esta información, no obstante, aporta una información de interés en la caracterización regional de la precipitación; los efectos espaciales locales tienen un gran peso en la determinación del número de días de precipitación en cada lugar, lo que explicaría la escasa correlación existente entre las series. Podríamos pensar que la relevancia de la información recogida en el número de días de lluvia, puede ser más interesante para matizar patrones espaciales de estudios a escalas de detalle.

El dendrograma (Figura 13.8) muestra un patrón diferente a los anteriores y los grupos aparecen menos uniformes y mezclados espacialmente en muchos ámbitos. Hemos establecido tres cortes según las divisiones más significativas que se producen. Se siguen identificando las mismas zonas que se mantienen, a grandes rasgos, por lo que no parece que esta variable matice significativamente las agrupaciones anteriores.

Destacar el grupo *nuevo* que parece configurarse en las hoyas de Baza y Guadix (verde) y la compartimentación en toda la zona del sudeste, precisamente donde los fenómenos convectivos tienen una mayor importancia (Figura 14.8).

Figura 13.8. Dendrograma de la prueba 4 correspondiente al número de días de precipitación.

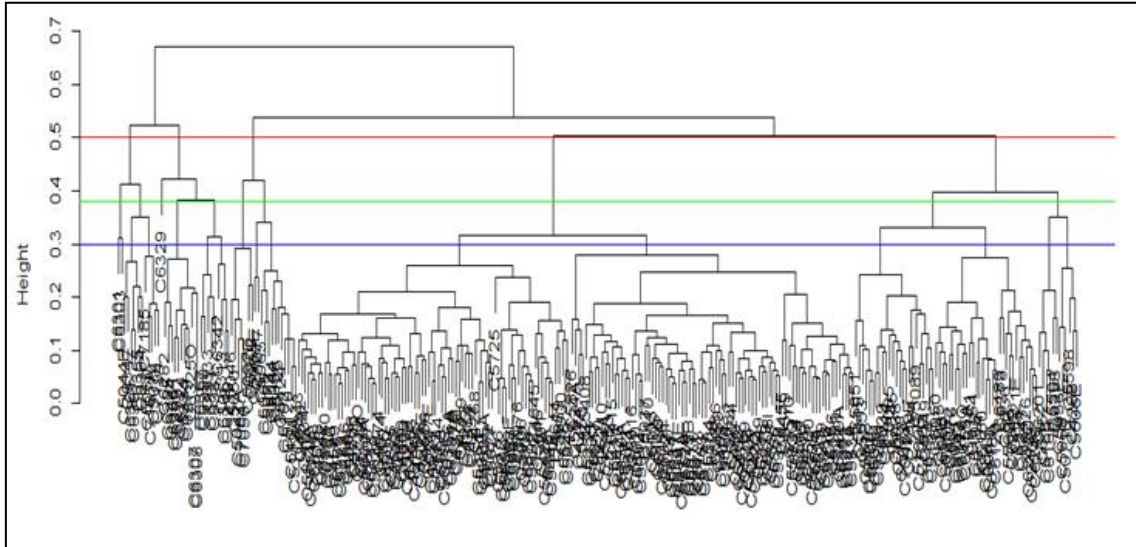


Figura 14.8. Representación espacial de los grupos correspondientes al número de días de precipitación al mes (Prueba 4).

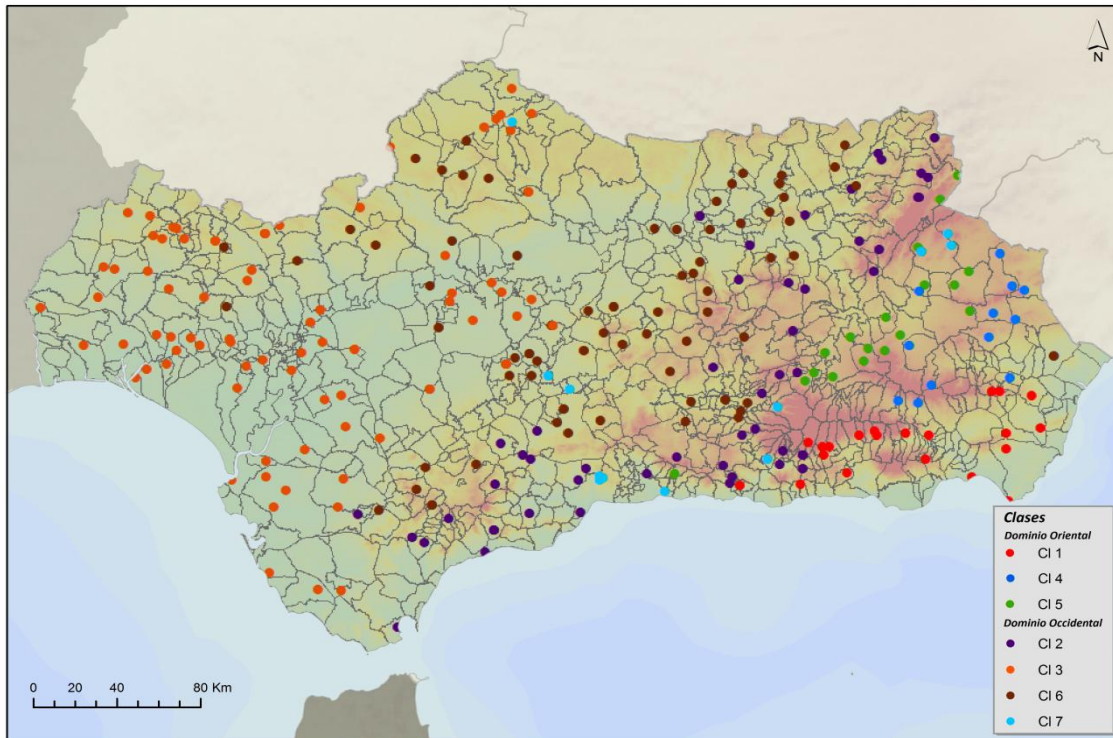
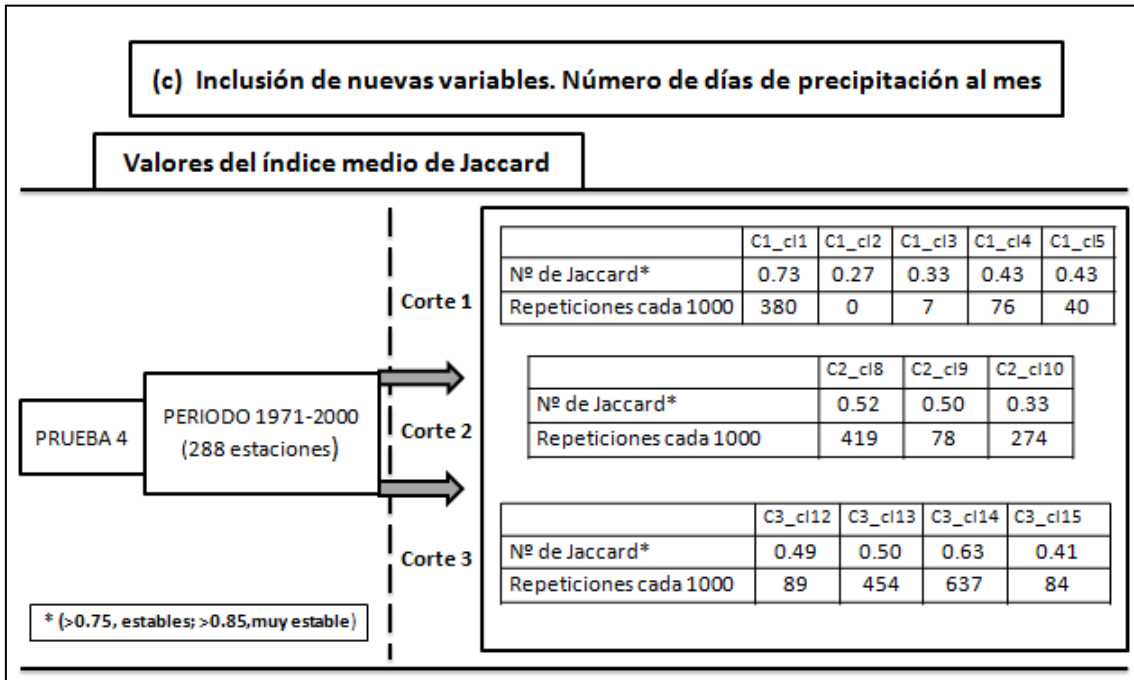


Figura 15.8. Resultados del índice medio de Jaccard para las prueba 4.



Basándonos en los valores de los ajustes de los cortes del *cluster* que obtienen peores resultados para el índice de Jaccard, (Figura 15.8) así como en la distribución espacial de las clases, a pesar de aparecer grupos similares, la continuidad espacial es menor y algunas clases (6 y 7) se mezclan dentro de otras. Por lo tanto, no se accede a una información que realmente aporte algo *nuevo* y los *clusters* se presentan menos *puros*; podemos descartar el uso de los días de precipitación mensual como variable a incluir en los análisis lo que hace más sencillos los procedimientos.

#### 8.1.1.4. Valoración de las pruebas

Como **conclusión de esta primera fase** exploratoria sobre el efecto de los datos de entrada, podemos concluir que:

- El aumento del número de estaciones al mejorar la densidad y distribución de puntos de observación, permite que el AC identifique y delimite mejor las zonas pluviométricamente homogéneas.
- El efecto del verano es irrelevante en la zonificación, por lo que los efectos de la estacionalidad no introducen ruido sino que, por el contrario, las diferencias en el régimen de precipitaciones contribuyen a la delimitación de los grupos.

- El número de días de precipitación como variable auxiliar no aporta, en relación a la complejidad de los procedimientos, una información significativa pudiendo incluso introducir ruido en los grupos.
- Los grandes ámbitos ligados a la influencia atlántica y oriental subdesértica, se delimitan con gran claridad y validez estadística en todas las pruebas. Las zonas siempre aparecen significativamente constituidas en los procesos de remuestreo, lo que se traduce en altos valores del índice medio de Jaccard.
- El coeficiente de correlación de Pearson, como medida de similitud entre las series, y el procedimiento de formación grupos mediante el enlace promedio, han producido resultados satisfactorios capaces de delimitar zonas compactas, continuas, coherentes y con sentido climático, desde un punto de vista geográfico.
- Las cuatro pruebas realizadas, a pesar de no disponer de unos índices de Jaccard suficientemente altos como para garantizar la estabilidad de todos los grupos, algunos de ellos sí se delimitan con mucha coherencia, y sí ofrecen una delimitación clara en seis zonas que se repiten en todos los ensayos realizados, algo que aporta gran coherencia espacial y climática a la regionalización que se va configurando.
- Los ensayos realizados ponen de manifiesto que los datos AEMET sometidos a un proceso de depuración y control de calidad, no han tenido fases posteriores de homogeneidad y reconstrucción, ventajas que ofrece la base de datos MOPREDAS. La aparición de *outliers* pone de manifiesto que se requieren mayores garantías sobre los datos en nuestros análisis, por lo que en las siguientes etapas exploratorias se utilizará MOPREDAS.

### 8.1.2. Análisis exploratorio metodológico sobre el *clúster* jerárquico

Una vez elegidos los datos de entrada hay que tomar dos decisiones: la medida de similitud entre elementos y el algoritmo de formación de los *clusters*. En esta segunda fase utilizaremos la base de datos MOPREDAS, debido a que los resultados obtenidos en las pruebas anteriores nos plantearon la necesidad de comprobar también el efecto que otra base podría tener sobre los resultados. Entre las recomendaciones que algunos autores hacen, en este tipo de análisis, están probar diferentes procedimientos y datos de entrada ya que constituyen otra de las fuentes que puede cambiar la clasificación final.

Esta base de datos aumenta el número de series disponibles a 513 estaciones para Andalucía, lo que hace un total de 73 estaciones, manteniendo un periodo temporal muy extenso. Puesto que este banco de datos es el que utilizaremos para realizar los análisis finales nos detendremos más en comentar las diferentes agrupaciones resultantes de cada ensayo, ya que proporcionan información muy interesante, incluso sorprendente en algunos casos. Para estas pruebas disponemos de un total de 722 observatorios, que ofrecen una excelente cobertura del sur peninsular, como figura en la siguiente tabla (Tabla 6.8):

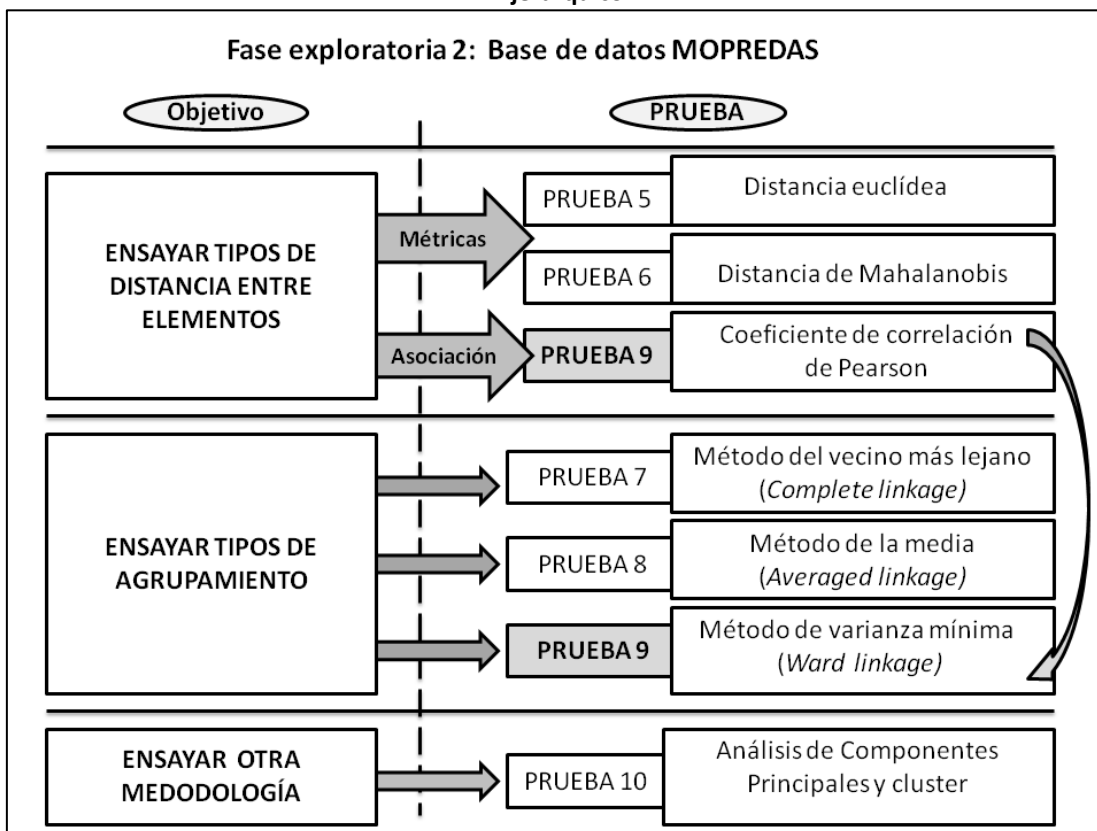
**Tabla 6.8. Estaciones y fuente de información de los análisis.**

	<b>Nº Estaciones</b>	<b>Fuente</b>
Albacete	23	MOPREDAS
Ciudad real	37	
Badajoz	62	
Murcia	38	
Andalucía	513	
Gibraltar	1	Met Office
Portugal	48	SNIRH
<b>Total</b>	<b>722</b>	

En la siguiente figura resumimos las pruebas dirigidas a indagar sobre la opción metodológica que mejores resultados ofrezca en el proceso de regionalización pluviométrica en Andalucía. Realizaremos diez pruebas, nueve de ellas con diferentes variantes del AC sobre las dos distancias que deben ser elegidas en el proceso de aplicación, y la prueba diez, en la que ensayamos una aplicación de ACP y AC, como suele ser habitual en este tipo de estudios. El objetivo, una vez más, es valorar cómo pueden afectar las diferentes opciones a los resultados (Figura 16.8). Del extenso abanico de posibilidades metodológicas, escogeremos las más utilizadas en estudios climáticos similares, de probada eficacia.



Figura 16.8. Esquema de la segunda fase exploratoria en el proceso metodológico del cluster jerárquico.



Elaboración propia

### 8.1.2.1. Diferentes distancias de similitud entre elementos

La primera decisión en el proceso de clasificación es elegir el criterio de similitud entre los elementos. En primer aplicamos dos medidas métricas: la distancia euclídea, muy empleada en regionalizaciones climáticas, y la distancia de Mahalanobis que puede presentar la ventaja de neutralizar, simultáneamente, los efectos dimensionales y los de correlaciones; sin embargo, una tercera ha sido nuestra *candidata*, el coeficiente de correlación de Pearson, como medida de asociación entre elementos. Esta última opción tiene muchas ventajas frente a las primeras, aunque existen menos referencias sobre su utilización en climatología. En España tenemos el estudio llevado a cabo por Sanz Donaire y Jiménez Blasco (2006) que obtienen buenos resultados utilizando el coeficiente de correlación de Pearson en un estudio de regionalización pluviométrica a nivel nacional.

Ya que hemos venido aplicando el coeficiente de correlación de Pearson en la etapa anterior exploratoria, no la emplearemos en este apartado y nos centraremos en las primeras medidas que aparecen en la figura, empleadas con mayor frecuencia. En la penúltima prueba del siguiente epígrafe (prueba 9), utilizaremos el coeficiente de correlación de Pearson combinado con la distancia de Ward, para ensayar esta medida



de asociación. En la figura anterior se recogen los ensayos de este apartado (pruebas 5 y 6).

**a) Distancia euclídea (Pruebas 5)**

Llevaremos a cabo dos pruebas utilizando la distancia euclídea como medida de similaridad, una aplicada directamente sobre los datos originales (Prueba 5a) y otra estandarizando cada una de las series (Prueba 5b).

**PRUEBA 5a. Agrupamiento empleando la distancia euclídea y distancia de Ward**

En la etapa exploratoria anterior, hemos ensayado esta distancia comprobando sus buenos resultados. En este caso, el cambio consiste en la base de datos empleada y el algoritmo de agrupamiento que utilizaremos en la distancia de Ward (Tabla 7.8).

**Tabla 7.8. Procedimiento del análisis clúster empleada en la prueba 5a.**

<i>Distancia</i>	<b>Tipo</b>
Medida de similaridad entre elementos	Distancia euclídea
Procedimiento de agrupamiento	Distancia de Ward

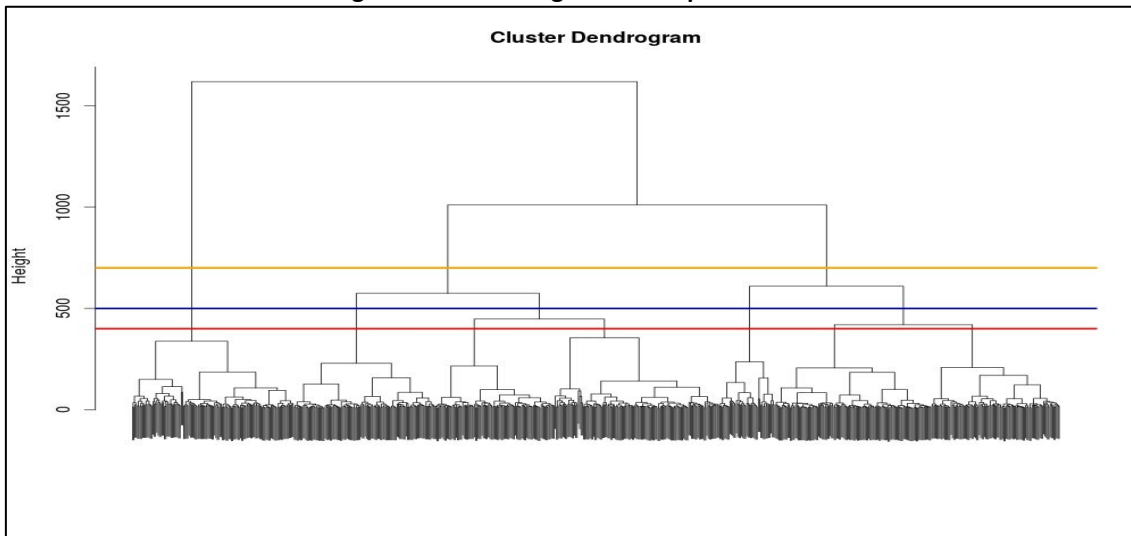
El dendrograma que aparece en la siguiente figura (Figura 17.8) presenta una estructura muy clara en donde los grupos se diferencian nítidamente. Realizamos 3 cortes que se aprecian en el gráfico de fusión de la Figura 18.8 y en dicho dendrograma. Su representación espacial así como la validación de la estabilidad de los grupos se resume en la Figura 19.8.

El primer corte vuelve a delimitar, al igual que en las pruebas anteriores, los dos grandes ámbitos pluviométricos de Andalucía que corresponde al dominio atlántico (los *clusters* 1 y 2, rojo y amarillo respectivamente), y el segundo grupo, más oriental, del ámbito subdesértico (*cluster* 3 azul) (Figura 19.8).

El segundo corte, a una distancia de 400 subdivide en tres grandes zonas quedando el dominio atlántico compartimentado en dos, como puede apreciarse en la Figura 19.8, correspondiendo con los *clusters* 1 y 2. La zona interior del valle del Guadalquivir y la cordillera Subbética se separan del gran conjunto atlántico y resulta curioso observar cómo esta primera zona que pertenece al clima mediterráneo subtropical, se adscribe al ámbito atlántico. De modo que en una primera clasificación la *mediterraneidad* no parece ser el rasgo más influyente, sino la escasez pluviométrica típica del clima subdesértico que es la que individualiza el sudeste peninsular.

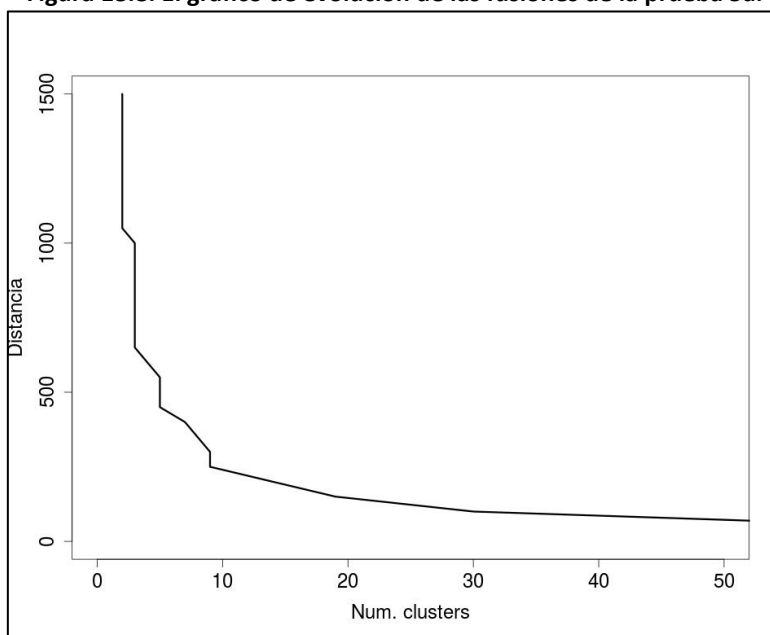
Observando los valores de estabilidad de estos grupos, podemos apreciar que no son adecuados pese a la nitidez con la que se diferencian los grupos, tanto en el dendrograma como espacialmente.

Figura 17.8. Dendrograma de la prueba 5a.



Elaboración propia.

Figura 18.8. El gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 5a.



Elaboración propia.

El tercer corte efectuado a una distancia de 200 establece matices interesantes, respecto a los grandes grupos que identificados en las pruebas anteriores y que son los siguientes:

- **Dominio atlántico.**

Dentro de este gran conjunto, los grupos presentan variaciones en su configuración espacial. En las agrupaciones realizadas en la primera etapa, todo el ámbito atlántico se extiende por toda la Andalucía occidental, hasta encontrar las estribaciones de la cordillera Subbética, incluyendo las Sierras de Cádiz y el

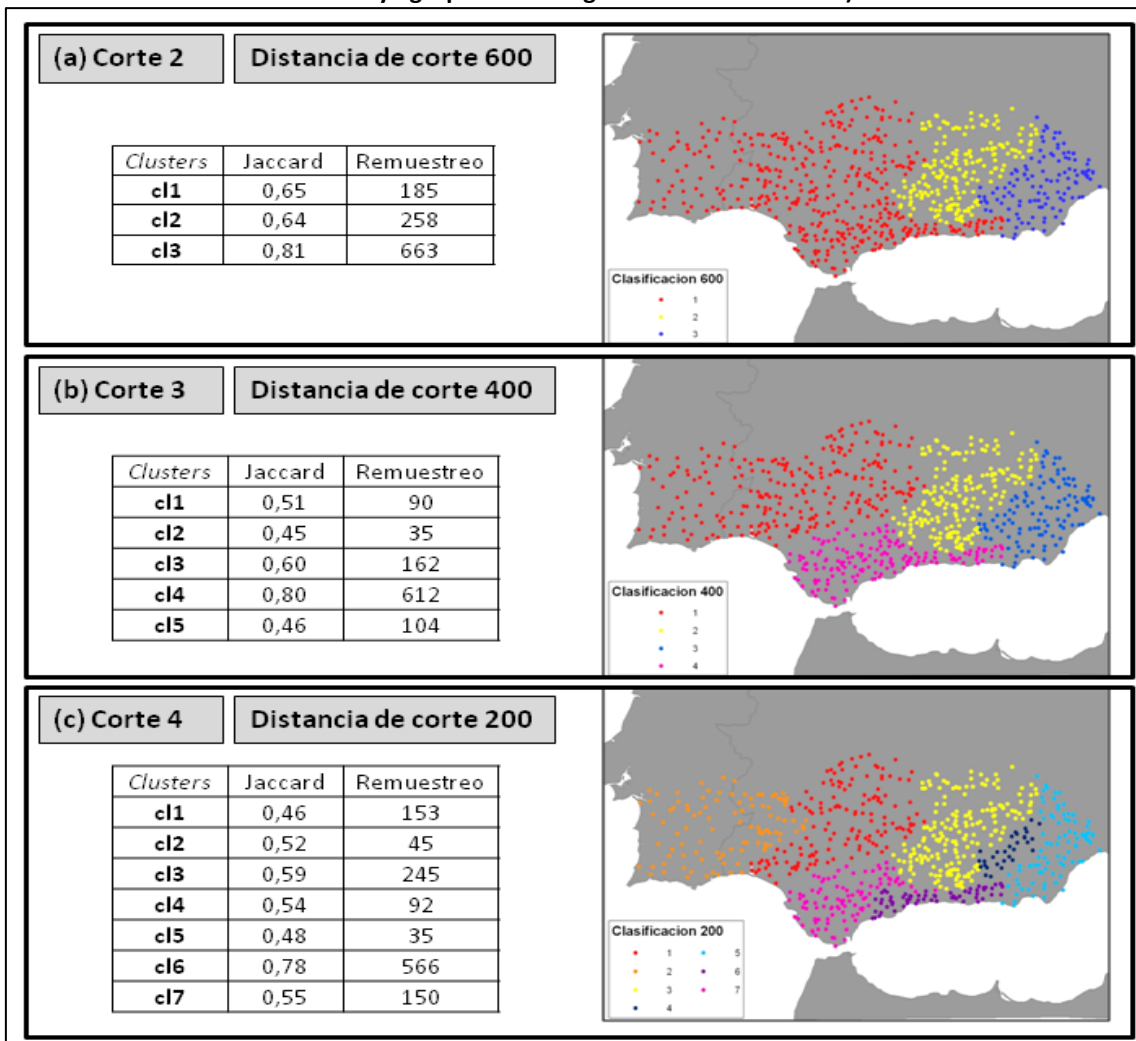
Subbético cordobés. En todo este gran conjunto atlántico, el único matiz que se definía en las pruebas 2 y 3 era la individualización del Algarve, sin embargo en este agrupamiento no aparece y surgen diferentes matices espaciales que delimitan nuevos grupos:

- **Portugal y la zona occidental de la provincia de Huelva**  
Coincidiendo con el primer ámbito de penetración de los frentes provenientes del SW desde la costa hasta la Sierra de Aracena y sur de Badajoz. Podríamos decir que correspondería al *primer ámbito de influencia atlántica más intensa*.
- **Zona del bajo y medio Guadalquivir y Sierra Morena central**  
Que se corresponde con *el pasillo de penetración* y que coincide con las altitudes más bajas: desde la desembocadura del Guadalquivir hasta los Pedroches, la comarca de las Lomas y Sierra Mágina, sin penetrar hasta el fondo del valle de Guadalquivir. Se trataría *de un segundo ámbito de influencia atlántica* que se extiende por las zonas de menor altitud de la depresión (a excepción del sector cordobés de Sierra Morena).
- **Sierras de Cádiz , Ronda y Subbético cordobés**  
Este conjunto se individualiza, extendiéndose hasta la costa malagueña del campo de Gibraltar.
- **Costa mediterránea**  
Comienza, aproximadamente, en el municipio de Marbella, penetra por el valle del río Guadalhorce, abarcando los sistemas montañosos costeros, hasta el campo de Dalías y Sierra de Gádor; en el extremo norte limita con Sierra Nevada y la vega de Granada. Este grupo se diferencia del obtenido en las clasificaciones anteriores, en su límite suroccidental ya que su extensión alcanzaba hasta Gibraltar.
- **Albacete**  
No se individualiza sino que se une al grupo del alto Guadalquivir y cordillera Subbética
- **Dominio oriental-subdesértico**
  - **Las hoyas de Baza y Guadix** se individualizan y desaparece *el pasillo a la sombra* de las Sierras de Cazorla y Segura que se extendía en dirección noreste, por Huescar, hasta la provincia de Murcia y que caracterizaba este grupo en las clasificaciones anteriores.

**Sierras de Gádor, Filabres y todo el territorio a la sombra de la cordillera Subbética hasta Murcia.**

Los dos grupos restantes, alto Guadalquivir-Subbéticas y sudeste subdesértico-Murcia se mantienen prácticamente iguales, por lo tanto esta agrupación aporta marcadas diferencias espaciales, respecto a las anteriores, en la delimitación de ámbitos pluviométricos. A pesar de no obtener un valor estadístico de estabilidad aceptable, espacial y climáticamente los grupos son muy coherentes.

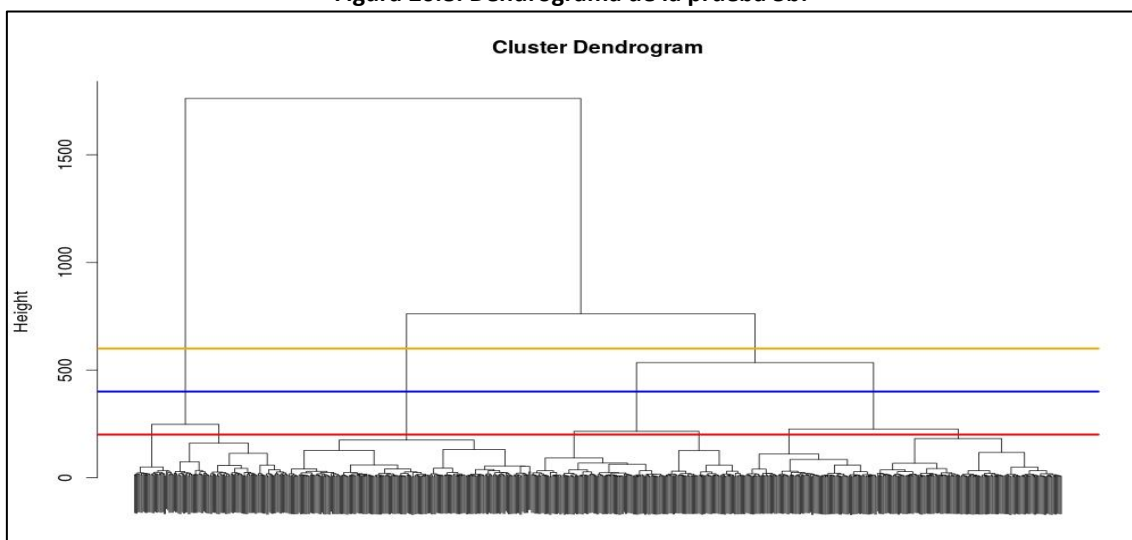
**Figura 19.8. Resultados espaciales de las divisiones en el dendrograma de la prueba 5a. (Distancia euclídea y agrupamiento según el método de Ward).**



Con las mismas opciones de distancia euclídea y método de agrupamiento se repitió el análisis *cluster* pero estandarizando los datos. Algunos autores, realizando un proceso de regionalización pluviométrica similar, sugieren que es necesario estandarizar los valores para eliminar el efecto que la topografía introduce en ellos (Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004). Así pues, ensayamos esta opción ya que en las pruebas anteriores de la primera fase, empleando el coeficiente de correlación de Pearson este problema no se planteaba. Los resultados completos se ofrecen en el Anexo II.

Los datos no se han estandarizado para cada una de las series sino por meses, lo que escala respecto a los valores medios mensuales de la región.

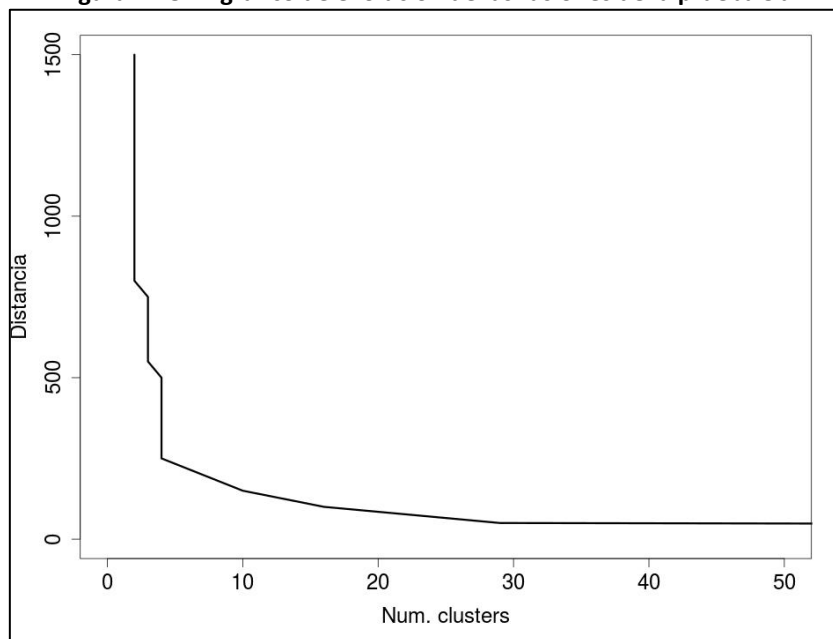
Figura 20.8. Dendrograma de la prueba 5b.



Elaboración propia.

El dendrograma (Figura 20.8) de esta prueba presenta un buen resultado, con grupos claramente definidos. Asimismo, el siguiente grafico (Figura 21.8) que representa el proceso de formación de conglomerados, muestra tres puntos nítidos de inflexión en los que hemos efectuado los cortes para establecer tres niveles de agrupación.

Figura 21.8. El gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 5b.



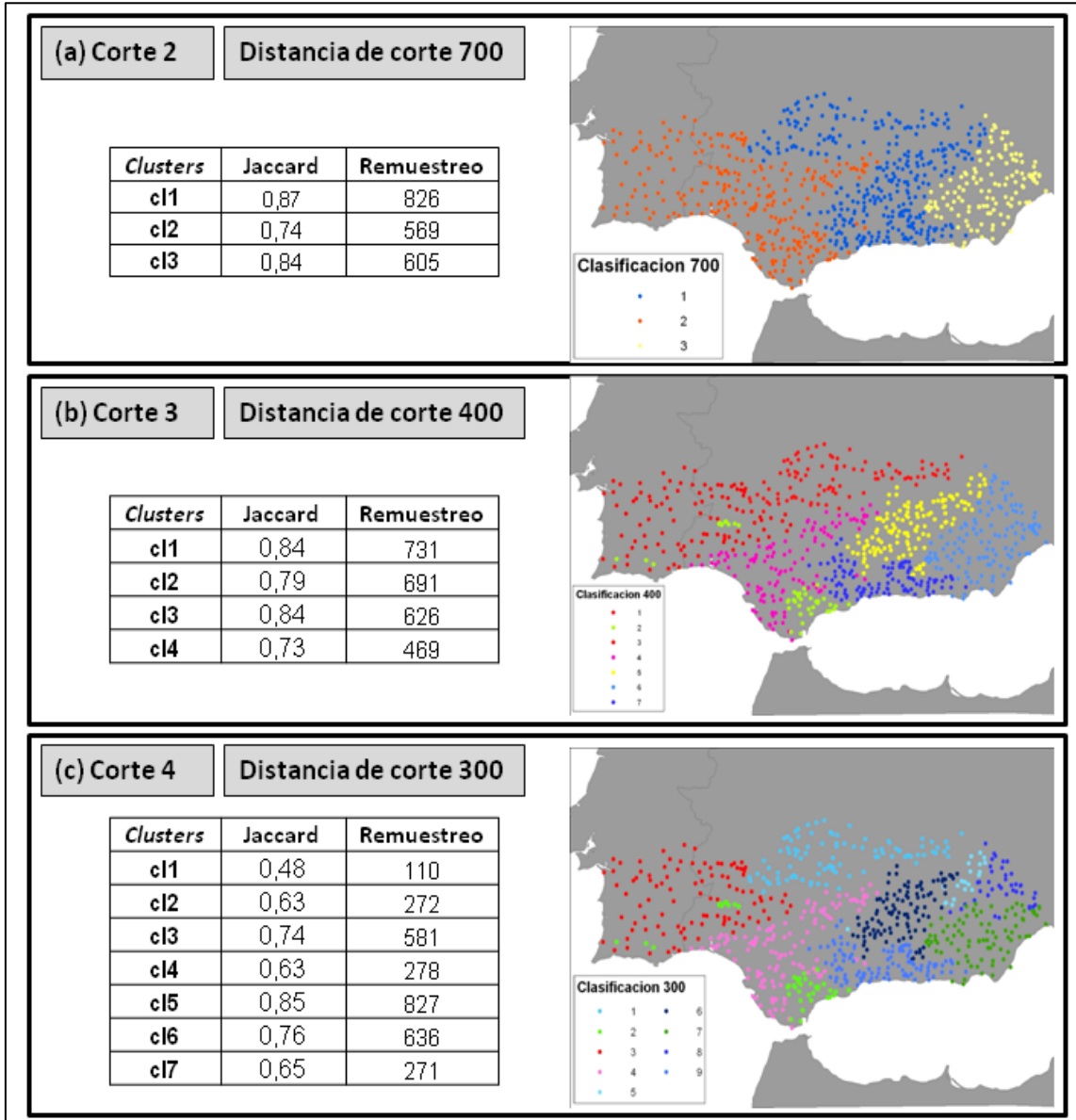
Elaboración propia.

Los resultados se observan en la Figura 22.8 que muestran diferencias sustanciales respecto a las pruebas anteriores y, en conjunto, muchos grupos presentan una extensión espacial muy diferente. Comentaremos los rasgos distintivos más de mayor relevancia:

- La primera **división a 600** del dendrograma muestra claramente tres grupos : el dominio atlántico, *primera rama* que se divide en el dendrograma en dos y el subdesértico que, a grandes rasgos, se mantiene similar. Por el contrario, el primero configura un nuevo grupo muy extenso (1 azul) que corresponde a la zona central norte: Albacete, cordillera Subbética hasta llegar a la costa mediterránea. La explicación de estos resultados puede ser, en relación al conjunto de la región, que la estandarización unifica en zonas con cantidades similares pluviométricas más que los factores climáticos o geográficos. Los tres ámbitos podrían corresponderse con zonas de mayor, media y escasa pluviometría relativa.
- El siguiente **corte a 400** separa nuevos ámbitos:
  - Unifica un grupo casi coincidente con los límites naturales de Sierra Morena y Portugal.
  - Agrupa todo el sudeste subdesértico, incluidas las hoyas de Baza y Guadix hasta Murcia.
  - Individualiza el valle del Guadalquivir siguiendo la cota de 400m.
  - La Serranía de Ronda hasta la costa desde Gibraltar hasta Marbella.
  - Se mantiene como grupo la cordillera Subbética.

- Se mantiene la costa mediterránea pero extendiendo sus límites hasta el Subbético cordobés.
- En el tercer **corte a 300** es la zona este la que se fragmenta en tres dominios: las Sierras de Cazorra y Segura, *la sombra* pluviométrica de estos sistemas montañosos y Murcia, y el sudeste cubriendo la práctica totalidad de la provincia de Almería.

Figura 22.8. Resultados espaciales de las divisiones en el dendrograma de la prueba 5b.



Esta clasificación, además de presentar algunas estaciones mal ubicadas (puntos verdes de la clase 7), parece tener menos sentido climático y responder a valores *descontextualizados* geográficamente, quizás por la estandarización. Añadir que los valores de validación estadísticos son muy bajos, incluso en los grupos más grandes finales en los que en pruebas anteriores se alcanzaban índices muy altos. Por

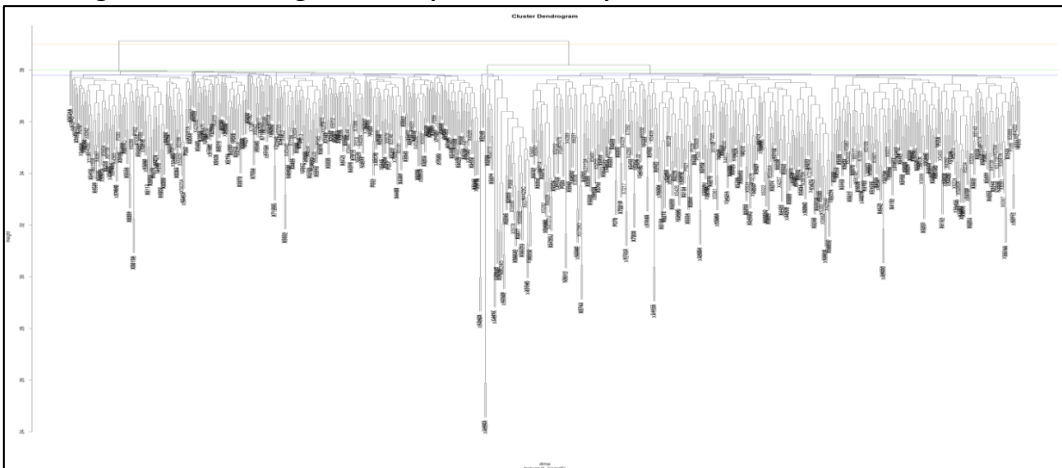
consiguiente, podemos afirmar que esta opción, aunque confirma grupos, no parece muy consistente.

**b) Distancias de Mahalanobis (Prueba 6)**

Probamos otras distancias para comprobar la capacidad de medir la similitud de los datos y la que nos pareció más adecuada fue la de Mahalanobis. Esta medida es adimensional y neutraliza, simultáneamente, los efectos dimensionales y tiene en cuenta las varianzas y las correlaciones de las variables que se emplean.

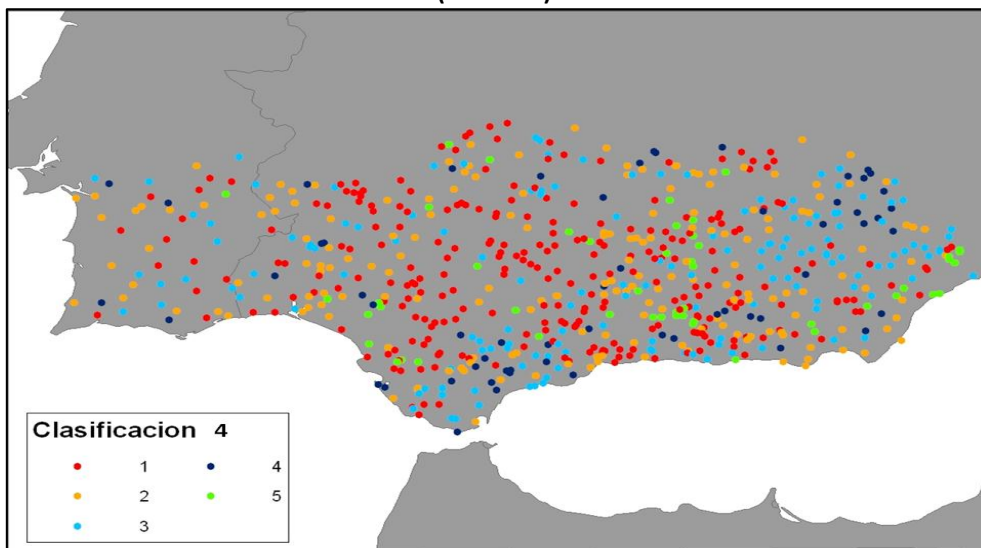
Tanto el dendrograma como los resultados espaciales, no conducen a una clasificación válida, ya que no se definen grupos y aparece mezclada toda la información (ver Figura 23.8 y 24.8).

**Figura 23.8. Dendrograma de la prueba 6 correspondiente a la distancia de Mahalanobis.**



Elaboración propia

**Figura 24.8. Representación espacial de los grupos resultantes de aplicar la distancia de Mahalanobis (Prueba 4).**



Elaboración propia.



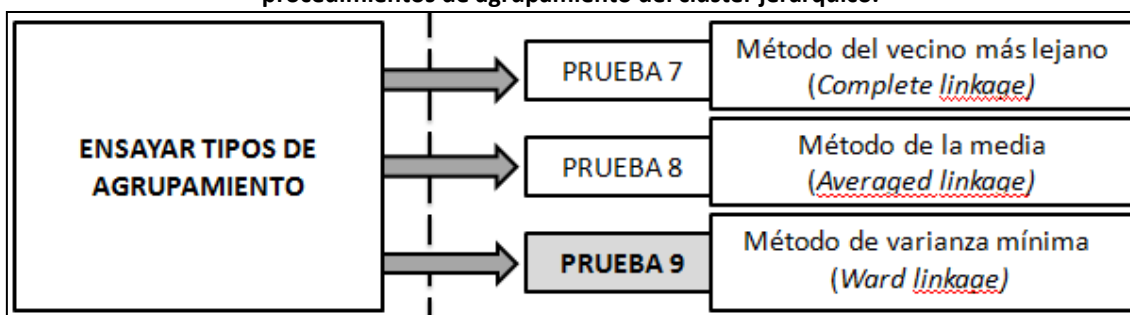
Desechamos esta opción ya que la distribución espacial de la clasificación obtenida no presenta patrones reconocibles (Anexo II).

### 8.1.2.2. Diferentes tipos de algoritmos de agrupamiento

La segunda decisión que había que tomar era el procedimiento de formación de los *clusters*. Por las referencias de trabajos similares, sabemos que el método de Ward es uno de los que mejores resultados ofrece en los procesos de definición de regiones homogéneas. No obstante queríamos contrastar los resultados que se obtenían con otras distancias, como el método del vecino más lejano (*Complete linkage*) o la media (*Average linkage*), uno de los más utilizados. Tal y como aparece en la siguiente figura, describiremos cada una de estas pruebas así como sus resultados.

En la siguiente figura (Figura 25.8) apreciamos los procedimientos de agrupamiento que emplearemos, así como las medidas que aplicaremos.

Figura 25.8. Pruebas de la segunda fase exploratoria del proceso metodológico sobre los procedimientos de agrupamiento del clúster jerárquico.



Elaboración propia.

#### a) Método del vecino más lejano (*Complete linkage*) (Prueba 7)

Este tipo de enlace, calcula la distancia más lejana entre objetos por lo que el algoritmo se asegura de que todos los miembros de cada grupo estén dentro de la mayor distancia posible. El enlace completo suele conducir a la obtención de *clusters* compactos (Tabla 8.8).

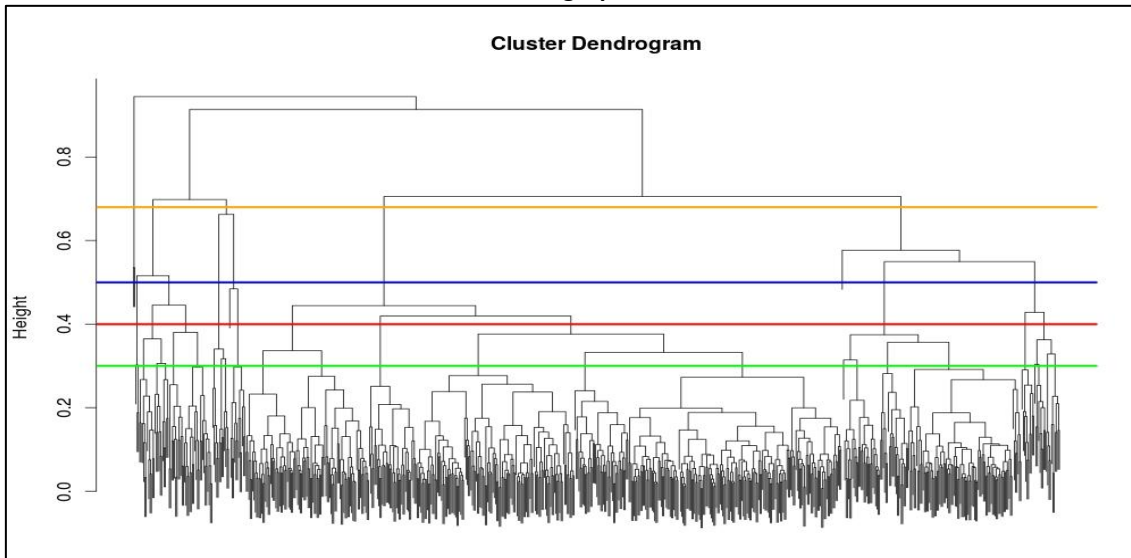
Tabla 8.8. Procedimiento del análisis cluster empleada en la prueba 7.

Distancia	Tipo
Medida de similaridad entre elementos	Coefficiente de correlación de Pearson
Procedimiento de agrupamiento	Distancia del vecino más lejano

Al usar este tipo de distancias se obtiene un dendrograma (Figura 26.8) de peor calidad que los anteriores. Aparecen clases minoritarias (hasta con 1 sola estación) que se consideran *outliers* y efectos de *encadenamiento* en la formación de algunas de ellas. Al representar estas clases se han descartado las que estaban representadas por

menos de un 1% de las estaciones. El patrón espacial obtenido es similar, aunque para llegar a una clasificación similar a las anteriores que origine un número de clases elevado, hay que *cortar* en el dendrograma *muy abajo*, a una distancia de 0,4 o 0,3.

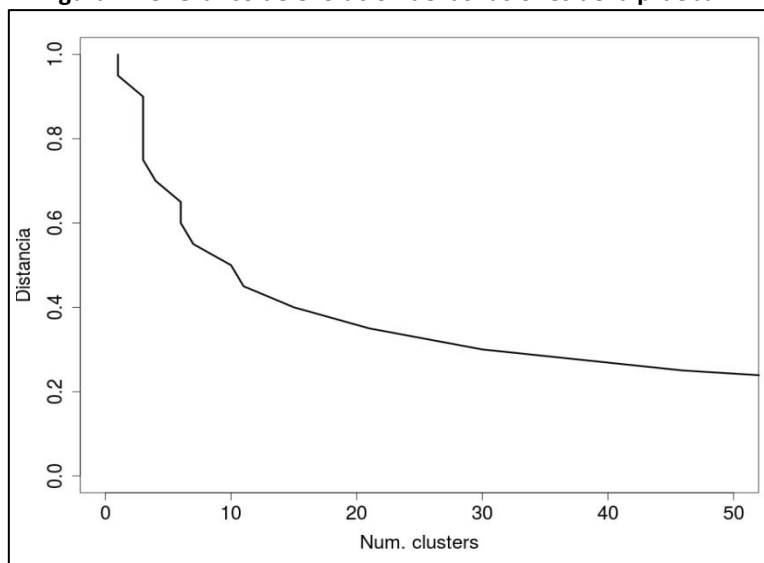
**Figura 26.8. Dendrograma de la prueba 7 correspondiente al método del vecino más lejano como medida de agrupamiento.**



Elaboración propia.

El gráfico de agrupamiento es muy diferente a los anteriores, con inflexiones menos marcadas, por lo que resulta más difícil identificar las distancias a las que establecer los puntos de corte. No obstante, hemos realizado cuatro divisiones en los puntos de cambio. Las agrupaciones resultantes en el espacio, se pueden apreciar en la Figura 27.8. A pesar de que los resultados no son tan consistentes y sus límites resultan menos precisos, se diferencian los grupos que se repiten en todos los ensayos, lo que corrobora la identidad de los mismos, a pesar de sus diferencias.

**Figura 27.8. Gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 7.**



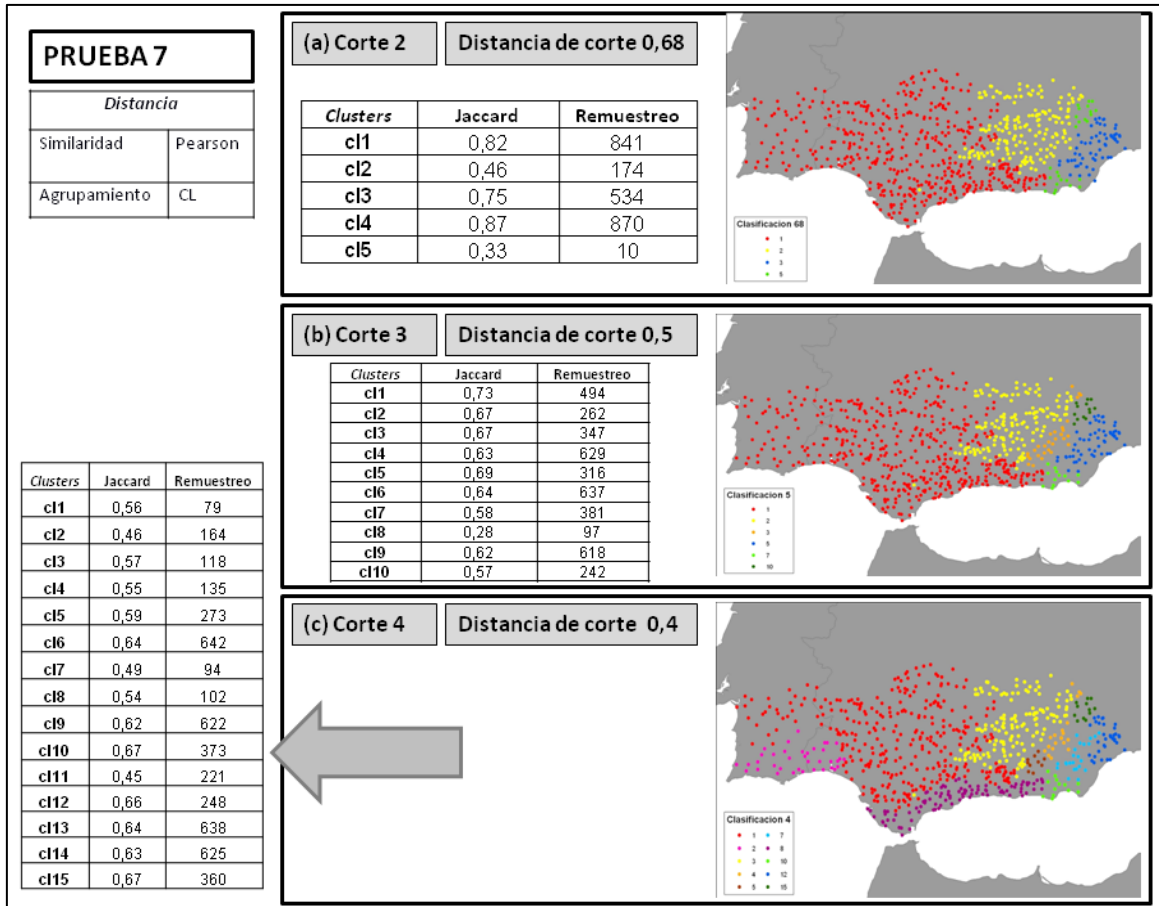
Elaboración propia.

Los resultados espaciales presentan diferencias en diversos aspectos (Figura 28.8):

- Los límites espaciales de las clases presentan unos contornos menos claros y con menor coherencia geográfica.
- Muestran clases sin continuidad espacial (clase 5 verde) que no ha aparecido en ninguno de los procedimientos hasta ahora empleados.
- Grazalema se individualiza como punto aislado fuera de su clase (amarillo).
- Los valores del índice de Jaccard, en los cortes inferiores con un gran número de grupos, son en conjunto bajos, mostrando una menor estabilidad estadística.
- En el ámbito oriental subdesértico, se configuran grupos con una distribución y límites menos coincidentes con los resultados anteriores y con ciertas inconsistencias de continuidad espacial, como la clase correspondiente a las Hoyas de Baza y Guadix (naranja) que se fragmentan apareciendo ciertas estaciones al noreste.

En el Anexo II se recogen nuevos cortes del dendrograma, a distancias menores, en donde se puede comprobar cómo el patrón espacial se va desdibujando y los grupos se mezclan, perdiendo consistencia la clasificación.

Figura 28.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 8 de aplicar el método de agrupamiento complete linkage (Prueba 7).



Elaboración propia.

La conclusión a la que llegamos es que la del vecino más lejano, ofrece peores resultados en conjunto y tiene menor coherencia espacial, no obstante, confirma en conjunto los grupos pluviométricos que se van configurando a lo largo de las diferentes pruebas.

**b) Método de la media (*Averaged linkage*) (*Prueba 8*)**

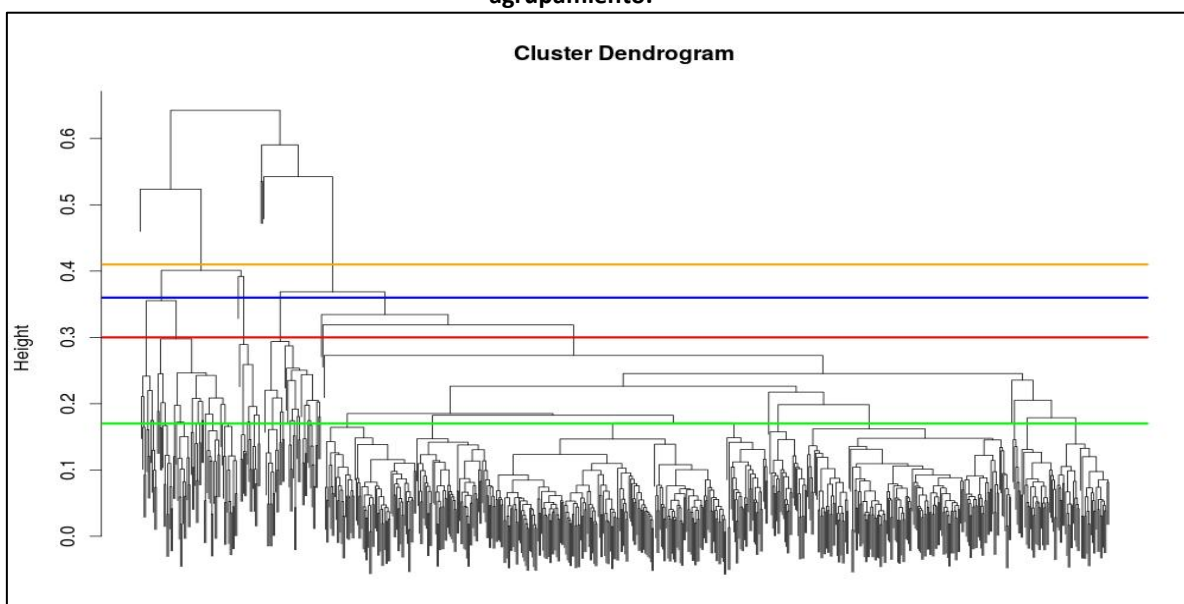
Mediante este algoritmo de agrupamiento, la distancia entre *clusters* se calcula como la media entre pares de observaciones, una por cada *cluster*. El método de las medias proporciona grupos ni demasiado grandes ni demasiado pequeños, tendiendo a fusionar aquellos con varianzas menores y a proporcionar *clusters* con la misma varianza (Tabla 9.8).

**Tabla 9.8. Procedimiento del análisis cluster empleada en la prueba 8.**

<i>Distancia</i>	Tipo
Medida de similitud entre elementos	Coficiente de correlación de Pearson
Procedimiento de agrupamiento	Método de la media

Como en el caso anterior, al usar este tipo de distancias se obtiene un dendrograma (Figura 29.8) en el que aparecen clases minoritarias (*outliers*), claramente apreciables en las divisiones superiores que dejan ramas que no continúan. Encontramos, además, un efecto no deseado en la estructura escalonada: el denominado *encadenamiento* o asignación de nuevas observaciones a grupos ya existentes, en vez de formar nuevos grupos (Rasilla Álvarez, 2000). Al representar las clases, se han descartado aquellas que tenían menos de un 1% de las estaciones.

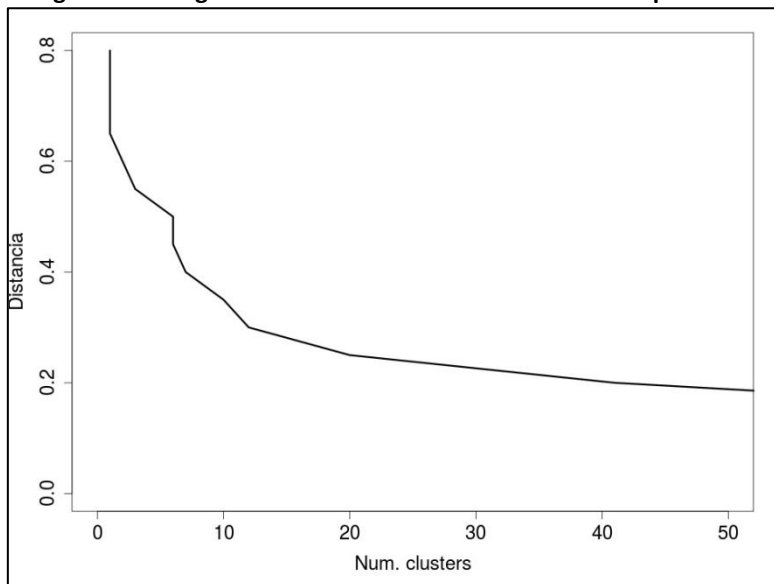
**Figura 29.8. Dendrograma de la prueba 8 correspondiente a la distancia media como medida de agrupamiento.**



Elaboración propia.

El siguiente gráfico (Figura 30.8) del proceso de agrupamiento, tampoco ayuda a la identificación de las distancias de corte del dendrograma, con inflexiones mucho más suaves.

Figura 30.8. El gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 8.

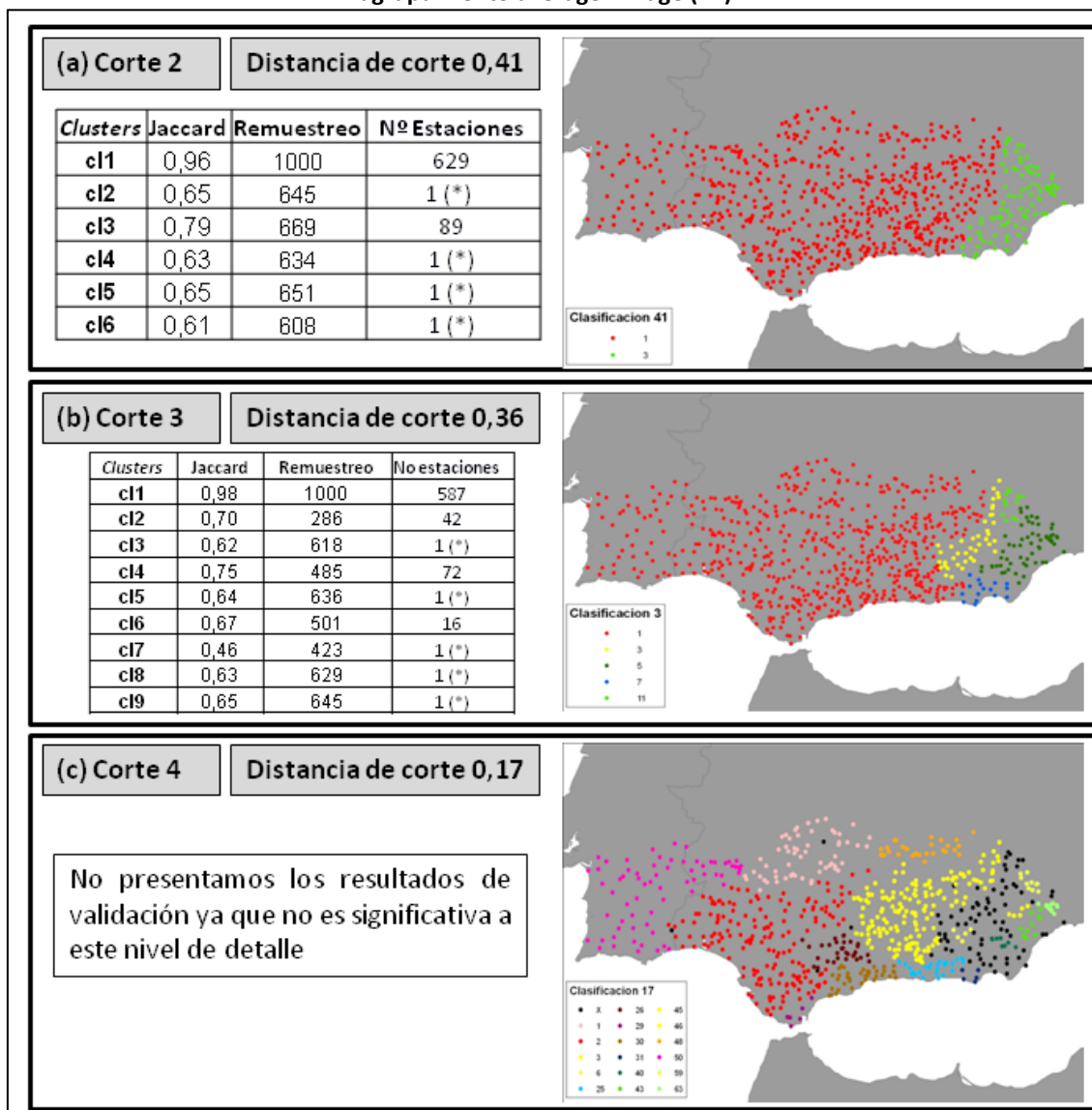


Elaboración propia.

El patrón espacial obtenido presenta bastantes diferencias respecto a los anteriores, como podemos observar en la siguiente figura (Figura 31.8) pero la clasificación, en conjunto, no es muy fiable ya que en todos los niveles aparecen muchas clases constituidas por una sola estación. Estos resultados muestran un agrupamiento de baja calidad, con muchos *outliers* que aparecen entremezclados en las clases predominantes.

La primera división que mostramos, a una distancia de corte de 0,38, muestra los dos grandes ámbitos el atlántico, quizás mejor hablar del gran ámbito mediterráneo *típico* (con 629 estaciones en esta clase) y el subdesértico (89 estaciones). Además, la consistencia estadística del primero alcanza un valor altísimo del índice de Jaccard con 0,96 y con mil repeticiones, en todas se confirma la clase.

Figura 31.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 8 al emplear el método de agrupamiento average linkage (AL).



Elaboración propia. Nota: Las clases 1(\*) que sólo están constituidas por una estación no se han representado espacialmente en las figuras.

El siguiente corte, a una distancia de 0,36, es el ámbito subdesértico que se subdivide, apareciendo matices diferentes como la sombra pluviométrica de la cordillera Subbética (clase 3 amarillo), la clase comprendida por las sierras de Gádor, Alhamilla y Filabres, rodeando la capital almeriense.

En la siguiente división a 0,17, el patrón general es menos claro, aunque aparecen grupos que no se aprecian en otras pruebas tales como:

- La compartimentación de la costa mediterránea en dos grupos.
- La escisión en un nuevo grupo de la zona de los Pedroches.
- La separación de Portugal y el sur de Badajoz.
- El ámbito de la depresión de Antequera.

- Las estaciones de la provincia Albacete.

En general, la clasificación no resulta muy fiable por todo lo que hemos comentado. Estos últimos grupos se diferencian a un nivel cuya significación puede resultar muy dudosa.

### c) Coeficiente de correlación de Pearson (*Prueba 9*)

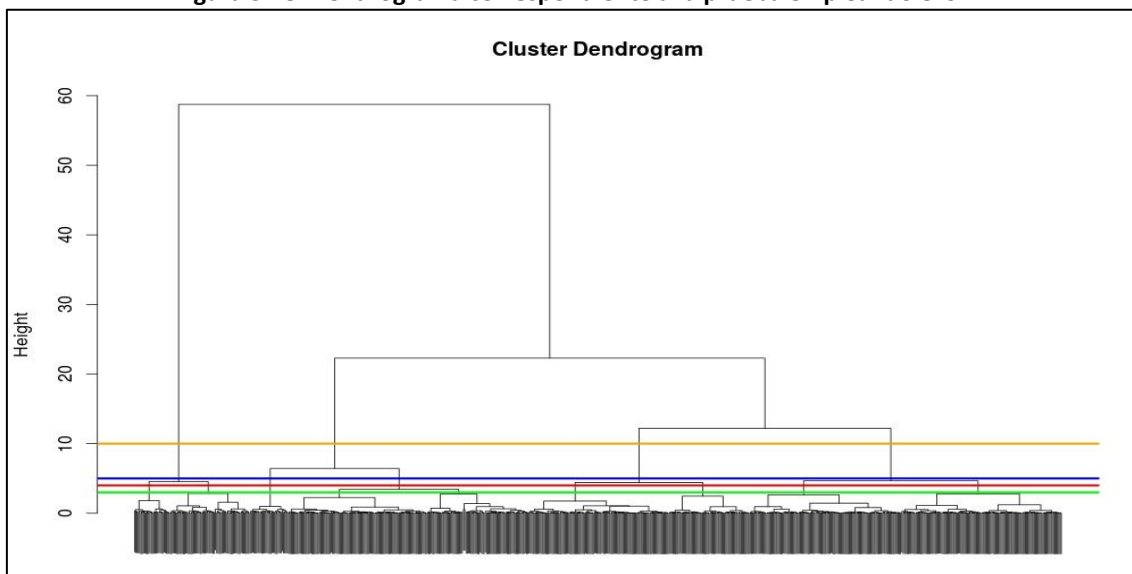
En la fase exploratoria anterior sobre los datos de entrada, ya utilizamos este coeficiente con muy buenos resultados globales, ahora repetimos el análisis utilizando la base definitiva MOPREDAS y cambiando el algoritmo de agrupación por la distancia de Ward. Este método se basa en la dispersión dentro de los grupos y se calcula como la suma de los cuadrados de la distancia entre cada punto y el centroide del grupo. Por esta razón también se conoce como método de varianza mínima (*Ward linkage*). Está considerado como uno de los más eficaces entre todos los métodos aglomerativos y uno de los más utilizados. En la investigación climatológica, Kalkstein y otros en 1987 revisaron los métodos más frecuentes de análisis de conglomerados concluyendo que el método de agrupamiento de Ward es el que proporciona mejores resultados (Shinker, 2010). Resumimos en la tabla (Tabla 10.8) siguiente las características de la prueba 9.

**Tabla 10.8. Procedimiento del análisis cluster empleada en la prueba 9.**

<i>Distancia</i>	<i>Tipo</i>
Medida de similitud entre elementos	Coeficiente de correlación de Pearson
Procedimiento de agrupamiento	Distancia de Ward

En la siguiente figura (Figura 32.8) se puede observar el dendrograma correspondiente a esta prueba 6 que ofrece una estructura muy clara con una buena separación de los conglomerados. Para representar las clases que genera se realizan 4 cortes a diferentes alturas: 10 (4 clases), 5 (5 clases), 4 (8 clases) y 3 (9 clases).

Figura 32.8. Dendrograma correspondiente a la prueba empleando el 9.



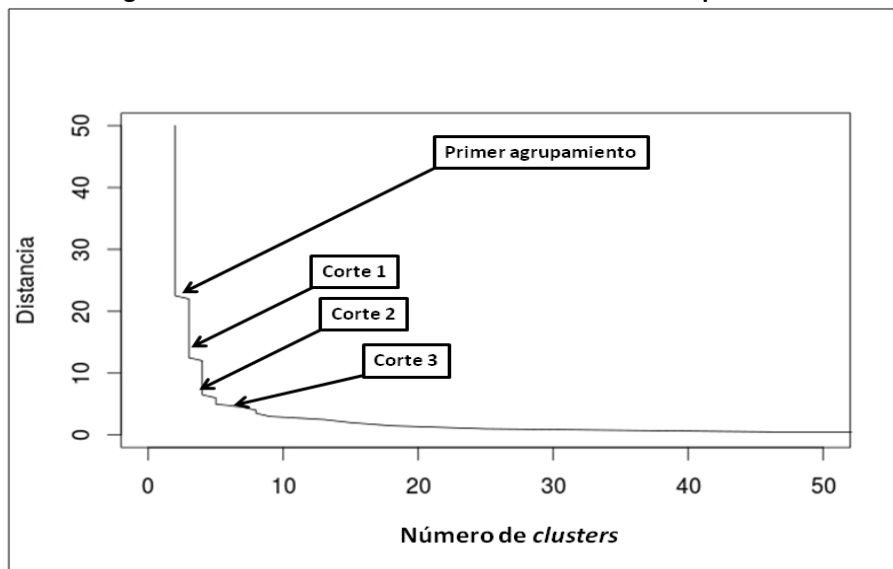
Elaboración propia.

En la siguiente figura (Figura 33.8) representamos el gráfico del proceso de formación de los grupos, similar al gráfico de sedimentación, que se realiza para decidir el número de componentes a retener en el ACP. Podemos observar cómo las inflexiones de la curva se corresponden en el dendrograma con las distancias a las que se forman los grupos. Y así, el primer agrupamiento que divide el ámbito atlántico en dos grupos, y el oriental que ya ha quedado formado a una distancia mayor, casi 60, se produce aproximadamente a un valor de 20 y se aprecia en la primera inflexión de la línea del proceso de aglomeración.

Los cortes se deben realizar antes de que se produzca el cambio en la línea, como queda reflejado en la siguiente figura que representa el proceso de aglomeración. La representación espacial de los grupos que se forman en cada uno de estos niveles y las pruebas del índice medio de Jaccard se recoge en la Figura 34.8.



Figura 33.8. Gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 9.



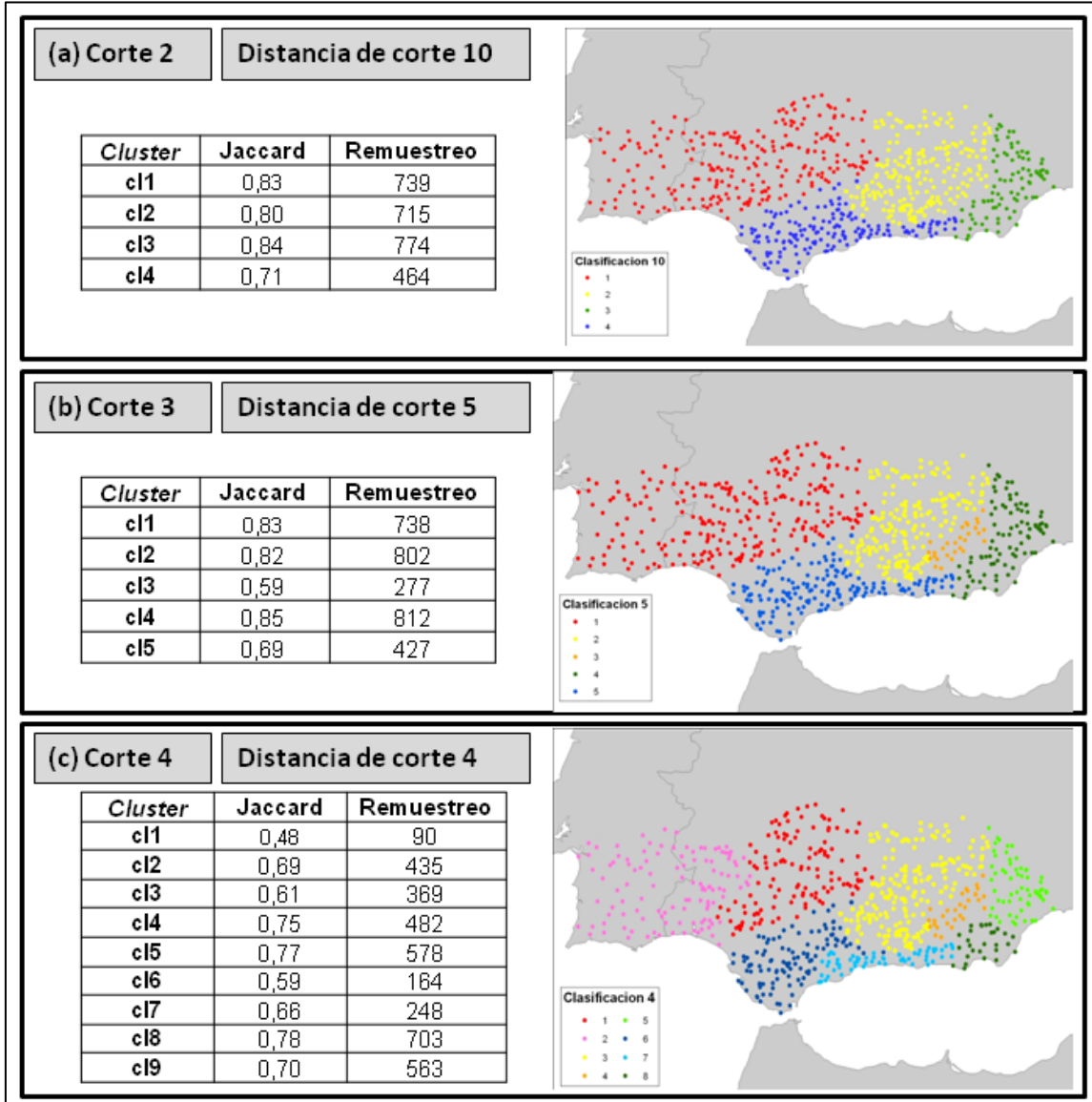
Elaboración propia.

En el primer corte, el ámbito atlántico se separa en tres grupos bien diferenciados y con valores muy altos en índice de Jaccard lo que demuestra su consistencia estadística. Lo describiremos brevemente, ya que más adelante vamos a comentar estos resultados:

- **Zona occidental de Portugal y Andalucía (Cluster 1 en rojo).**  
 Este ámbito se extiende penetrando por el valle del Guadalquivir y encuentra sus límites en los primeros relieves de los sistemas Béticos y al fondo del valle con las zonas más elevadas de la comarca de Las Lomas llegando hasta Albacete. La estabilidad de este grupo, aún siendo clara su aparición en todas las pruebas, no alcanza un índice de Jaccard aceptable casi 0,6, lo que según Henning indicaría que *pueden existir patrones en los datos*.
- **Cordillera Subbética hasta Sierra Nevada (Cluster 2 en amarillo)**  
 Ámbito que comprende también la zona intrabética hasta la provincia de Albacete. Todo el ámbito interior de la región que cierra el valle del Guadalquivir, aparece como un grupo muy estable con valores muy altos del índice de Jaccard de 0,81.
- **Extremo suroriental (Cluster 3 en verde).**  
 Este grupo corresponde al ámbito subdesértico y se individualiza en todas las pruebas realizadas con los índices más altos de Jaccard de 0,85. No obstante, aparecen diferencias en su extensión, más limitada que en pruebas anteriores, y se extiende hacia Murcia en la sombra de la cordillera Subbética.
- **Extremo sur de Andalucía desde Cádiz (Cluster 4 en azul).**

Se extiende desde la provincia de Cádiz, Subbético cordobés y Málaga limitando con la vega de Granada y en la costa mediterránea, hasta la sierra de Gádor. Es el grupo que presenta el valor más bajo 0,38 de Jaccard, por lo que su delimitación no es muy estable.

Figura 34.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 9.



Elaboración propia.

En el corte 3 representado en la figura superior, aparece un nuevo grupo (clase 3 de esta agrupación en color naranja) que corresponde a las Hoyas de Baza y Guadix, situadas a una altura de unos 1.000 m. El cinturón montañoso que las rodea, está formado por sierras, algunas de las cuales pueden superar los 2.000 m de altitud: Sierra Nevada, Sierra de Baza, La Sagra, Cazorla, Orce y Las Estancias consiguen individualizar pluviométricamente este ámbito, aunque su valor de Jaccard es más bajo (0,59). Las restantes zonas descritas se mantienen, ganando estabilidad ya que casi todas suben en sus índices de validación cercanos o superiores a 0,80.

La última división que presentamos delimita 9 grupos y presenta unos valores de estabilidad aceptables, en torno a 0,7, con límites bien definidos y con gran coherencia espacial. El ámbito atlántico se fragmenta en dos, el más occidental que incluye: todo el sur de Portugal, la provincia de Huelva y zona occidental de Badajoz, el centro-norte de Andalucía, desde el bajo y medio Guadalquivir sin llegar a la desembocadura, Córdoba extendiéndose por Badajoz y Ciudad Real.

El ámbito oriental también se subdivide en dos: toda la zona más al sudeste rodeada por los relieves de las Sierras de Gádor, Sierra de los Filabres y Sierra de las Estancias, hasta la Sierra de Almenara, separándose del siguiente nuevo grupo que corresponde a la región de Murcia.

La costa mediterránea se individualiza del ámbito occidental de las cordilleras Béticas extendiéndose desde Sierra Bermeja hasta la Sierra de Gádor; las vertientes meridionales del sistema Penibético también forman parte de este grupo, muy coherente también en sus límites geográficos.

Los valores de validación bajan para todos los grupos en esta nueva división, excepto para el *cluster* 3, la zona de la cordillera Subbética sigue apareciendo como un grupo muy estable.

### 8.1.2.3. Análisis de componentes principales y cluster

Finalmente, hemos añadido otro ensayo llevando a cabo un ACP y AC, procedimiento muy empleado en las regionalizaciones climáticas que aplicamos para contrastar los resultados; su aplicación ha tenido un fin prospectivo sin pretender realizar un procedimiento de regionalización metodológico, que hubiese requerido probar muchas de las variantes que este tipo de trabajos aborda tales como: la selección de diferentes componentes principales analizando sus patrones espaciales, rotaciones para aumentar la coherencia espacial de los resultados etc.

A la hora de manejar los datos de entrada, el primer obstáculo que surge es que contamos con más variables que casos, sin embargo, el programa R cuenta con algoritmos que permiten el análisis de este tipo de matrices. Los resultados muestran la necesidad de contemplar un gran número de componentes para conservar el 70% de la variabilidad. En los estudios precedentes, a escala diaria, sucede lo mismo, tanto Romero y otros (1999) como Argüeso y otros (2011) al realizar el ACP bajos valores explicativos de las componentes. De esta forma, la primera componente sin rotar en el trabajo de Romero consigue explicar un 0,19, y en la segunda investigación, los cinco modos principales significativos explican un 57,75% de la varianza. Los autores advierten que la baja capacidad explicativa indica que la primera fuente de variación en los datos está asociada con la magnitud global de precipitaciones, porque en una

región tan extensa como Andalucía raramente se producen eventos de precipitación diaria que afecten a la totalidad del territorio (Romero *et al.*, 1999).

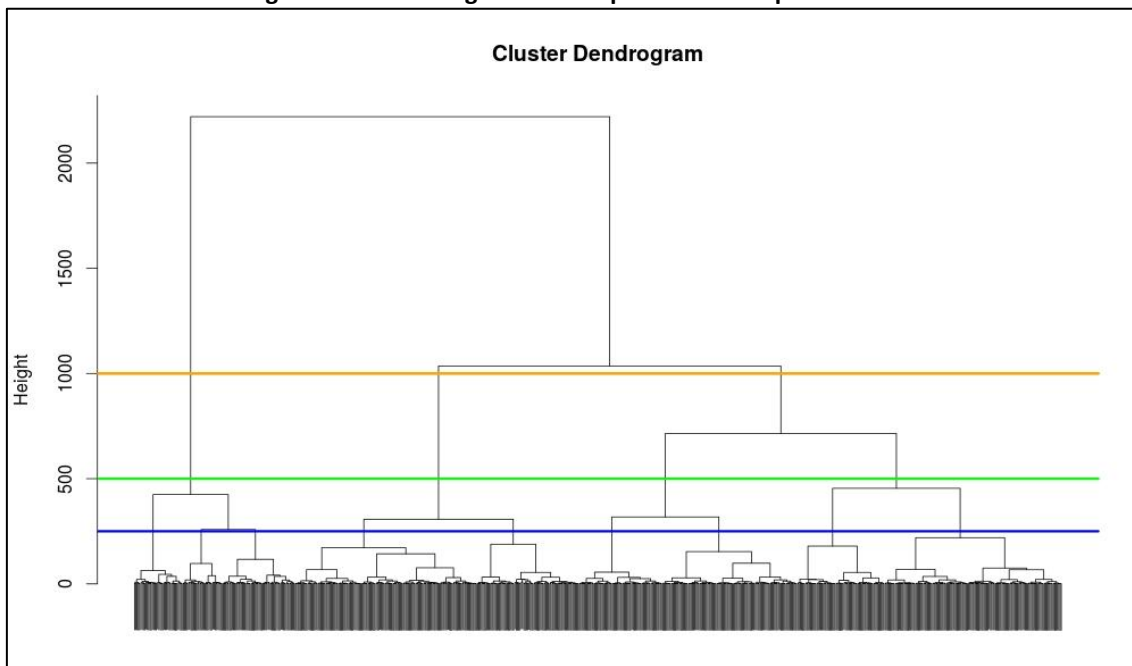
Nuestras componentes sin rotar con datos mensuales, mejoran esta primera componente pero sigue siendo muy baja la varianza explicada. Sin embargo, al igual que en el primero de los estudios, aplicamos una *regionalización dura* (análisis *cluster* utilizando las componentes sin rotar) y observamos sus resultados espacialmente, tras establecer en el proceso de aglomeración (Tabla 11.8) diferentes cortes en el dendrograma a distancias significativas.

**Tabla 11.8. Valores de los diez primeros componentes principales.**

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Desviación estándar	82,13	48,75	38,86	267,48	228,34	211,36	181,78	173,10	165,69	162,71
Proporción varianza	0,32	0,11	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Proporción acumulada	0,32	0,43	0,51	0,54	0,56	0,59	0,60	0,62	0,63	0,64

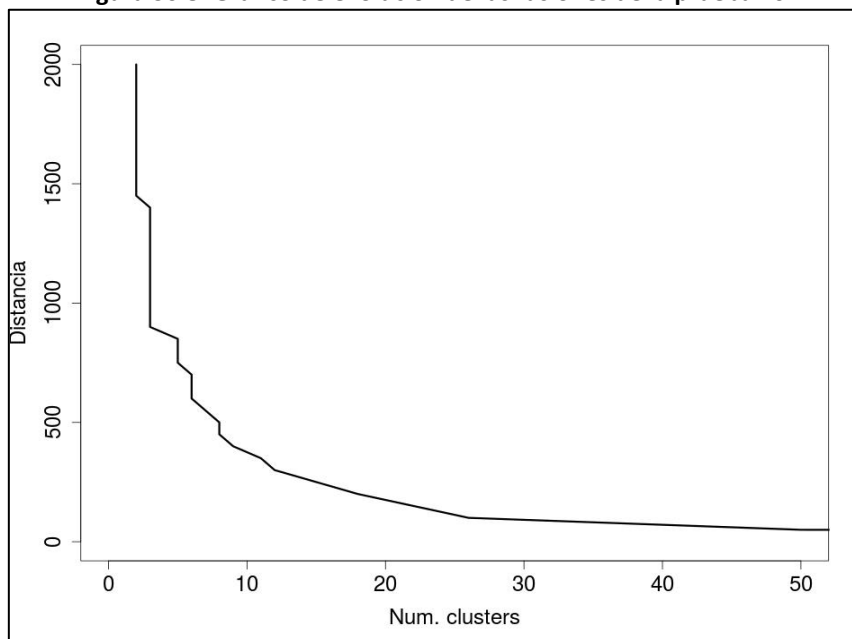
El dendrograma (Figura 35.8) muestra una clasificación muy limpia, por lo que la clasificación de estas componentes ofrece una buena estructura. El gráfico (Figura 36.8) de agrupamiento presenta tres primeros puntos de corte muy claros, uno corresponde a la primera división en los dos grandes ámbitos, y a partir de aquí realizamos otros tres cortes a distancias de 1000, 500 y 250, éste último para obtener un mayor nivel de detalle en la clasificación.

**Figura 35.8. Dendrograma correspondiente a la prueba 10.**



Elaboración propia.

Figura 36.8. Gráfico de evolución de las fusiones de la prueba 10.



Elaboración propia.

En la siguiente figura (37.8) se representan espacialmente los tres cortes realizados en el dendrograma, en el primero, a una distancia de 1000 se repiten los grandes grupos aunque sus límites y extensión espacial varíen; los valores de Jaccard son peores que en pruebas anteriores para este primer nivel.

Se pueden distinguir los siguientes ámbitos:

- El ámbito atlántico se extiende por la costa mediterránea (*cluster 1* en rojo).
- El grupo de la cordillera Subbética, de mayor extensión que en otras pruebas, ocupa la comarca de Las Lomas hasta Albacete (*cluster 2* en amarillo).
- El sudeste subdesértico tiene un mayor número de estaciones (125) que cubren el espacio hasta la cordillera Subbética.

El segundo corte, a una distancia de 500 en la clase atlántica, se subdivide en dos separándose el bajo y medio Guadalquivir y la provincia de Cádiz, extendiéndose por la franja de la costa mediterránea. Curiosamente, la clase subdesértica que habitualmente tiene valores de calidad inferiores, es la que presenta aquí el índice de Jaccard más alto (0,81).

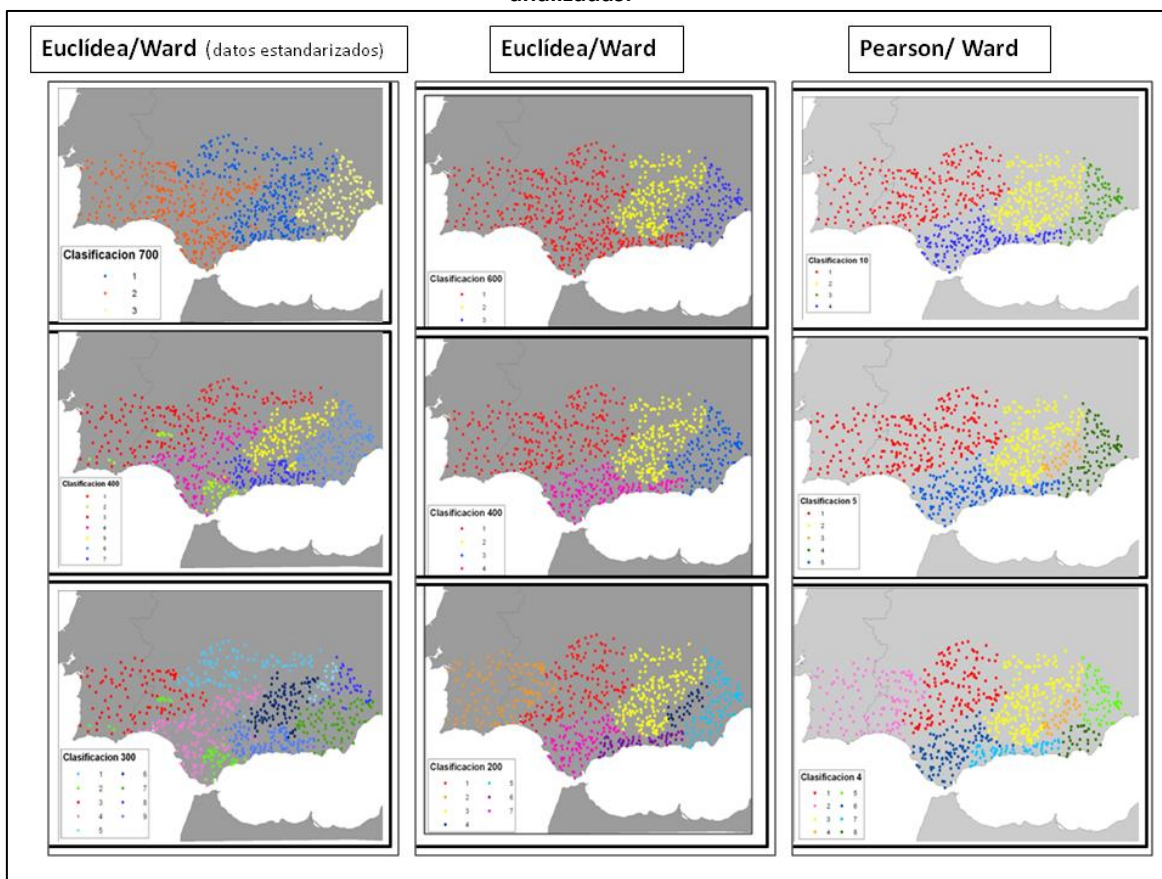
La última división delimita ámbitos ya reconocidos en pruebas anteriores, aunque cada una de ellas matiza espacialmente los grupos en sus límites y extensión; sin embargo, vuelve a prevalecer la idea de la estabilidad de las clasificaciones que, a grandes rasgos van perfilando una clara regionalización pluviométrica de Andalucía.

Figura 37.8. Representación espacial de los grupos resultantes de la prueba 10.

### 8.2. Selección metodológica final

Esta fase exploratoria nos ha permitido constatar los buenos resultados generales obtenidos y la consistencia de las zonas pluviométricas homogéneas que se van configurando. Llegados a este punto, es necesario elegir entre las variantes metodológicas que hemos ensayado a fin de seleccionar, basándonos en los mejores resultados obtenidos, la que consideramos más adecuada. Prácticamente todas, se han llevado a cabo empleando el coeficiente de correlación de Pearson como medida de distancia entre los elementos que ha sido nuestra apuesta metodológica, excepto en las pruebas con la distancia euclídea. De forma conjunta vamos a comparar las diferencias en la siguiente figura. (Figura 38.8):

Figura 38.8. Comparativa de las medidas de distancia empleadas entre las distintas estaciones analizadas.



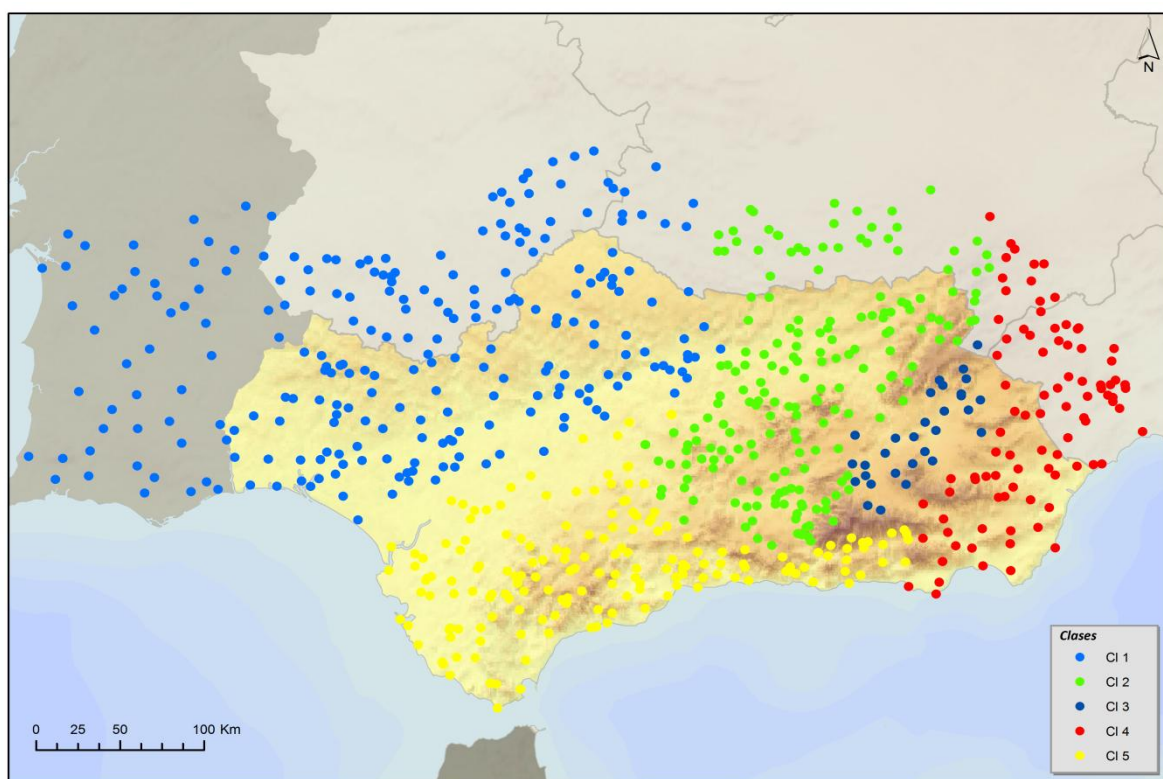
Elaboración propia.

Aplicando sobre la base de datos MOPREDAS el coeficiente de correlación de Pearson y la distancia de Ward hemos realizado tres cortes en el dendrograma, de los que los dos últimos representan dos escalas diferentes espaciales que nos proporcionan una regionalización más detallada, de ahí que sean éstas las que elegiremos como propuestas de regionalización final

### 8.2.1. Presentación general

La primera regionalización pluviométrica para el corte a una distancia de 5 delimita cinco regiones pluviométricas homogéneas tal como se representa en la Figura 39.8. Según esta propuesta, en los límites de Andalucía las áreas pluviométricas homogéneas continúan extendiéndose más allá de la región sin que se fragmenten geográficamente.

Figura 39.8. Agrupación de las estaciones en la regionalización pluviométrica de Andalucía en cinco regiones.



Elaboración propia.

En los siguientes epígrafes de este apartado, iremos describiendo cada una de las zonas desde un punto de vista estadístico, geográfico y climático. Lo hemos hecho de forma simplificada por ser aspectos que no contempla nuestra investigación.

Las cinco regiones pluviométricas que se delimitan las hemos denominado:

#### 1. Zona atlántica (*Cluster 1*)

Corresponde a la zona más occidental de Andalucía extendiéndose desde Portugal, Sierra Morena y la margen derecha del valle del Guadalquivir, hasta los límites de la provincia de Jaén.

**2. Zona central y sur de Andalucía (Cluster 5)**

Desde la desembocadura y margen derecha del Guadalquivir hasta el Subbético cordobés, parte de la vertiente sur de Sierra Nevada, extendiéndose por toda la costa mediterránea hasta el campo de Dalías y Sierra de Gádor donde se detiene.

**3. Interior de Andalucía y cordillera Subbética (Cluster 2)**

Comprende la Sierra de Huetor hasta Sierra Nevada.

**4. Zona oriental interior de los sistemas Béticos (Cluster 3)**

Que incluye las Hoyas de Baza y Guadix extendiéndose hacia el noreste hasta los límites con Murcia (Figura 39.8)

**5. Sudeste subdesértico (Cluster 4)**

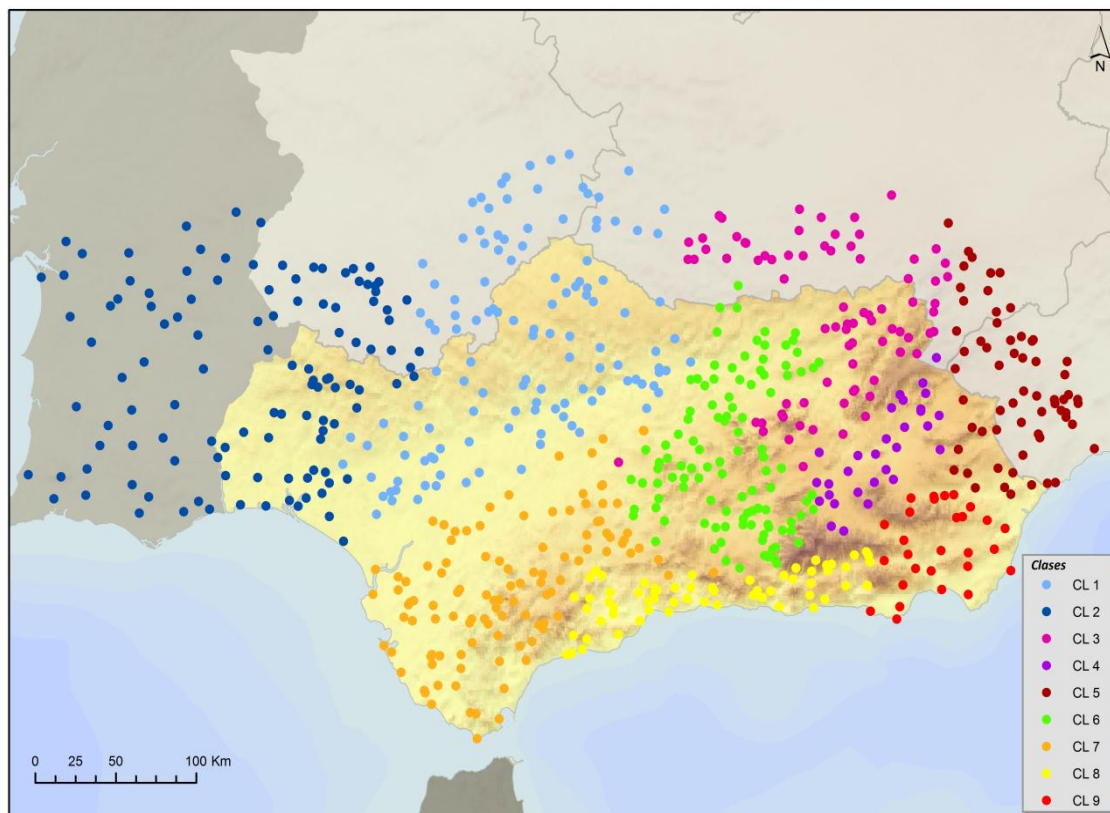
Coincide, prácticamente, con los límites de la provincia de Almería y abarca toda la de Murcia, que también se incluye en nuestro análisis.

Para cada una de estas zonas se ha generado una serie que calcula el valor de precipitación mensual, como la media de los valores de precipitación de todas las series de ese grupo. De esta forma resumimos el comportamiento y podemos abordar la descripción estadística de cada área. Nuestra elección simplifica la complejidad y puede no incluir matices de cierta relevancia, sin embargo permite un acercamiento a los rasgos esenciales de cada grupo, en una primera aproximación.

Seguiremos el mismo proceso con la segunda regionalización que subdivide la región en 9 zonas, a partir del corte del dendrograma, a una distancia de 4 como se muestra en la siguiente figura (Figura 40.8). Hemos continuado con la misma numeración de los grupos para mantener la correspondencia con los establecidos en el apartado anterior.



Figura 40.8. Agrupación de las estaciones en la regionalización pluviométrica de Andalucía en nueve regiones.



Elaboración propia.

Como podemos apreciar, todas las zonas se subdividen a excepción de la zona oriental y el interior de los sistemas Béticos (zona 4). El resto de los grupos se fragmentan en dos.

#### Zona atlántica:

- Zona más occidental (*Cluster 2*) desde Portugal, sur de Badajoz y los límites de la provincia de Huelva, incluyendo la Sierra de Huelva. Podríamos decir que es el primer ámbito de influencia atlántica *más intenso*.
- Zona central de Andalucía (*Cluster 1*), prácticamente desde el bajo y medio Guadalquivir, extendiéndose hacia la Sierra Norte, los Pedroches y continuando por Badajoz y Ciudad Real.

#### Zona central y sur de Andalucía:

- Zona sur (*cluster 7*) desde la desembocadura del Guadalquivir, extendiéndose hacia el noreste por la margen derecha del valle, Subbético cordobés y hacia el sur extendiéndose hasta la serranía de Ronda.
- Costa mediterránea (*cluster 8*) desde la Sierra Blanca, el municipio de Marbella, por toda la vertiente sur del sistema Penibético, incluyendo la vertiente sur de Sierra Nevada, hasta la Sierra de Gádor.

**Interior de Andalucía y cordillera Subbética:**

- Zona interior (*Cluster 6*) penetrando por el valle del Genil hasta Sierra Nevada, Subbético cordobés y Sierra de Alta Coloma, cubriendo la comarca de Las Lomas hasta los límites de Andalucía con Castilla La Mancha. Da la impresión de que se extiende por zonas que no llegan a alcanzar los 1.400 metros; el segundo ámbito de este grupo lo constituyen los relieves que superan esta diferencia.
- Cordillera Subbética (*Cluster 3*), desde Sierra Mágina, Sierras de Cazorla, Segura y las Villas hasta unir con la Sierra de Alcaraz y los Montes de Toledo.

**Sudeste subdesértico:**

- Sudeste almeriense (*Cluster 5*), coincide prácticamente con los límites de la provincia de Almería desde la costa, incluye el Campo de Dalías, Sierra de Gádor y Filabres y limita con las Sierra de las Estancias y María.
- Zona que corresponde a la provincia de Murcia (*Cluster 5*) penetrando en Andalucía por las dos últimas sierras mencionadas.

**Zona oriental interior de los sistemas Béticos (*Cluster 4*):**

Comprende las Hoyas de Baza y Guadix y se extiende hacia el noreste por la Sierra de Sagra hasta los límites con Murcia.

Vamos a describir estas zonas, aunque en la primera división nos centraremos solamente en cinco de ellas, ya que comentar una regionalización que abarcara nueve, resultaría excesivamente prolijo y conllevaría un análisis detallado relacionando cada ámbito con las características fisiográficas y otras variables del medio.

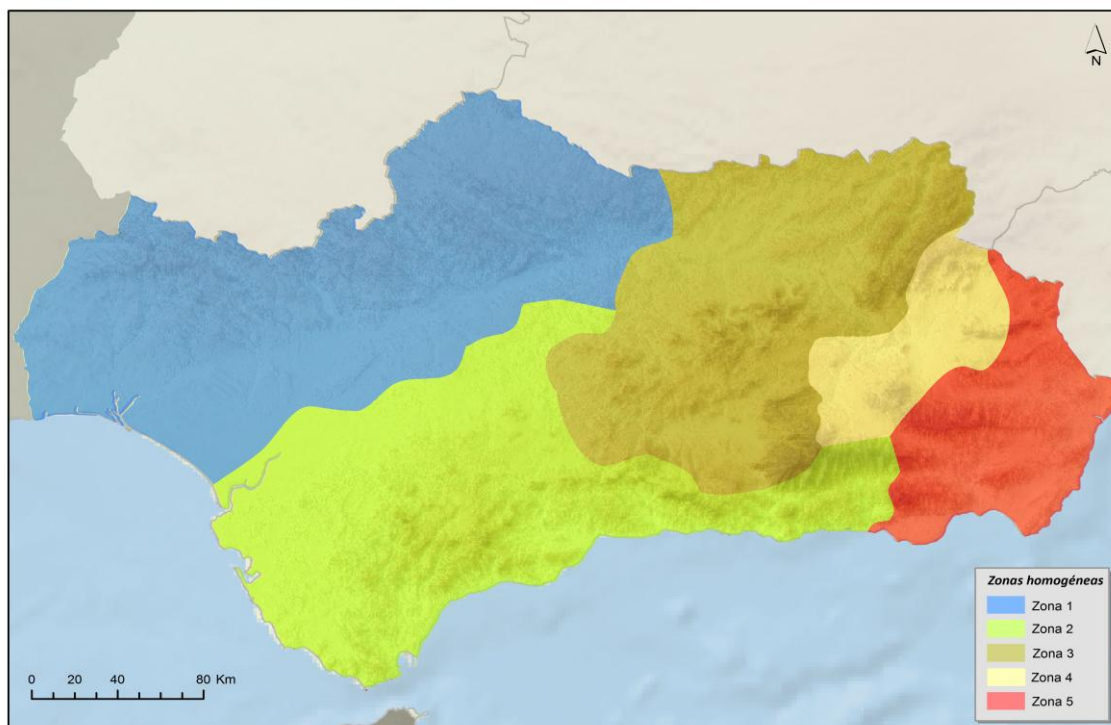
**8.2.2. Caracterización de las zonas**

La regionalización de la precipitación final se muestra en las figuras (Figura 41.8 y 42.8) en donde se recogen unas divisiones climáticas coherentes que se corresponden con la topografía y las características principales de la circulación dominante. Una partición zonal evidencia dos claras influencias: la atlántica de donde proceden los frentes que penetran gradualmente en la región hacia el Este y los sistemas generados en el mar Mediterráneo que se hacen sentir en la zona oriental.

Por otra parte, los efectos de la topografía se perciben en la delimitación de las zonas, aunque no existe una correspondencia exacta entre sus límites físicos y las regiones;

hay que señalar circunstancias tan relevantes como la orientación, las sombras pluviométricas, los pasillos orográficos y la propia altitud.

**Figura 41.8. Regionalización pluviométrica de Andalucía en cinco regiones.**



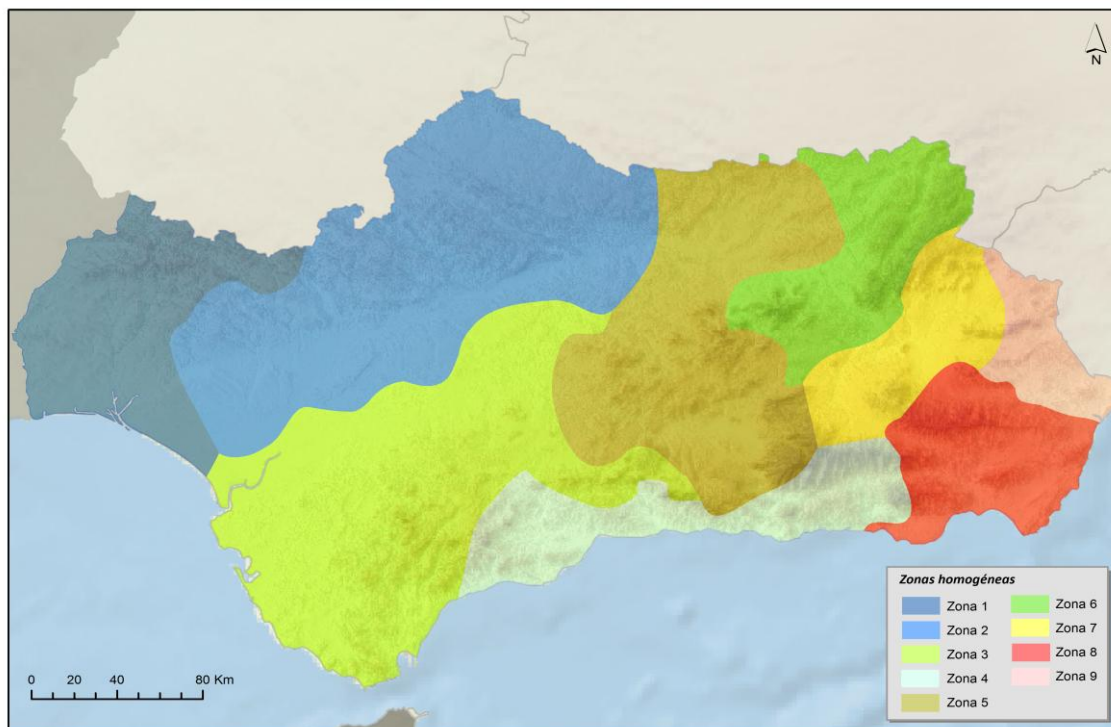
Elaboración propia.

Sobre la clasificación realizada, se generalizaron los grupos delimitados por las estaciones en zonas homogéneas pluviométricas en determinadas áreas geográficas. El proceso se llevó a cabo mediante un Sistema de Información Geográfica, empleando procedimientos implementados en el programa ArcGis, sin que se haya realizado ninguna modelización espacial para delimitar los grupos espacialmente.

La importancia de la delimitación de fronteras de los grupos identificados es un proceso tan complejo que requiere análisis especializados de geoestadística o de análisis espacial, por lo que están fuera del alcance de esta investigación. Por esta razón, tras probar algunas posibilidades de interpolación, y puesto que se partía de los puntos que representaban las estaciones como límite, se utilizaron los polígonos de Thyssen para generar las áreas; a éstas se les aplicó un proceso posterior de disolución y ajuste de las líneas limítrofes a la localización de los observatorios.

Las zonas generalizadas son las que aparecen en la siguiente figura, en la que las líneas que se delimitan podrían ajustarse geográficamente un poco más, lo que implicaría un complicado proceso que no podemos abarcar.

Figura 42.8. Regionalización pluviométrica de Andalucía en nueve regiones.



Elaboración propia

Describiremos a continuación cada una de las zonas pluviométricamente homogéneas que mediante técnica de estadística descriptiva, hemos delimitado en cinco grupos en nuestra regionalización; hemos relacionado esas características con los principales rasgos climáticos y geográficos de cada una de ellas.

De la caracterización estadística detallada de la regionalización pluviométrica en las nueve zonas, sólo hemos incluido el mapa que las representa, se ha generado siguiendo el procedimiento antes descrito y se presenta en el Anexo XX no hemos incluido un comentario detallado por las razones anteriormente expuestas.

Destacar un aspecto relacionado con la descripción de las zonas pluviométricas que, como destacan Von Storch y Navarra, “dentro de este grupo de aplicaciones, la mayor parte de ellas no intentan establecer una correspondencia entre las clases identificadas y situaciones o tipos de tiempo reales. En este sentido se dice que no están condicionadas localmente, es decir, que serían tipologías que sintetizan regímenes de variabilidad diferente” (von Storch y Navarra, 1999).

La intención es describir cada región según su régimen de precipitaciones, por lo que completamos los datos estadística utilizando los estadísticos descriptivos básicos robustos y no robustos, los diagramas de caja y bigotes mensuales que permiten obtener datos en cada mes acerca de la contribución de precipitación, la variabilidad (a través de los rangos intercuartílicos), y la importancia de las aportaciones *inusuales* (a través de los valores extremos). Todo ello, unido al diagrama de barras del régimen

intraanual, proporciona información sobre la importancia de la estacionalidad en cada región.

A continuación pasamos a describir las cinco regiones pluviométricas:

- **Zona 1. Zona atlántica**

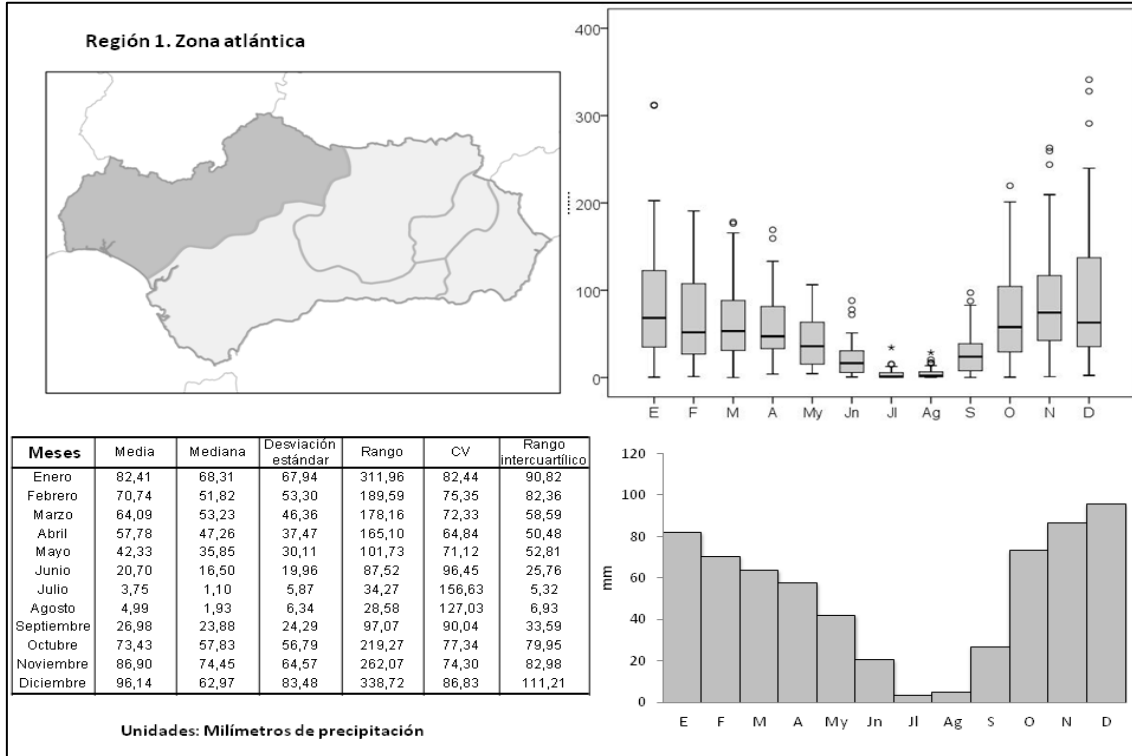
Esta primer *zona 1*, a la que hemos denominado *Atlántica*, es la primera de Andalucía en recibir la influencia de los vientos húmedos del oeste. Presenta una precipitación anual media de 630.25 mm con notables contrastes ya que en el extremo noroccidental las cantidades son más abundantes, con promedios de hasta 1.175 mm/año en las zonas más elevadas, donde se acusa un neto incremento pluviométrico por cuestiones orográficas. En la siguiente Figura 43.8 resumimos las principales características estadísticas de esta zona, a partir de la serie media que hemos generado para su caracterización.

Gómez-Zotano et al apuntan que “En contraposición, las zonas bajas más orientales, las más interiores y, en consecuencia, las menos afectadas por los flujos húmedos de W-SW, registran valores medios mínimos de 680 mm/año. El régimen es típicamente mediterráneo, aunque con las particularidades propias de la influencia atlántica” (Gómez-Zotano et al., 2015).

Diciembre destaca como mes más lluvioso, con más de 96l/m<sup>2</sup>, mientras que el más seco es julio, con tan sólo 3.75 mm de precipitación. La observación de los diagramas de caja y bigotes muestran la existencia, en casi todos los meses (excepto febrero y mayo), de valores atípicos e incluso, en los meses de julio y agosto, extremadamente atípicos en la parte superior de la distribución. La dispersión en torno a esa media es elevada, como indican los valores de desviación estándar; si utilizamos el coeficiente de variación que expresa dicha desviación como porcentaje de la media, podremos evaluarla en su justa medida. Abril, con un coeficiente de variación de 64.84%, es el mes que presenta una menor dispersión y con valores de precipitación más homogéneos, (es decir, su desviación típica supone el 64,84% de su media); en el extremo opuesto se sitúan los meses de julio y agosto, con coeficiente de variación de Pearson de 156,63% y 127,03 % respectivamente, lo que indica la gran irregularidad de la precipitación en esta época central del año.

El régimen de precipitaciones se caracteriza por un máximo principal no muy marcado en diciembre, seguido muy de cerca por los meses de noviembre y enero. El mínimo absoluto se produce en julio, seguido por agosto con valores muy similares.

Figura 43.8. Caracterización estadística de la región 1 atlántica.



Elaboración propia

En esta región, las precipitaciones se asocian con la circulación del oeste. Según Capel Molina (1981), los flujos más frecuentes se originan por el suroeste, seguidos por el oeste y el noroeste. Se puede observar que en la mayoría de las zonas de montaña los rangos de valores tienen una orientación oeste-este, la zona presenta esta distribución aunque matizada por la apertura del valle del Guadalquivir y la disposición de los relieves que facilitan la entrada de los vientos del suroeste. Por lo tanto domina el régimen de circulación del oeste, prevaleciendo de octubre a mayo fundamentalmente. Durante el verano, esta circulación se debilita debido al bloqueo del anticiclón de las Azores resultando anómalo este tipos de circulación meridional (Esteban- Parra *et al.*, 1998).

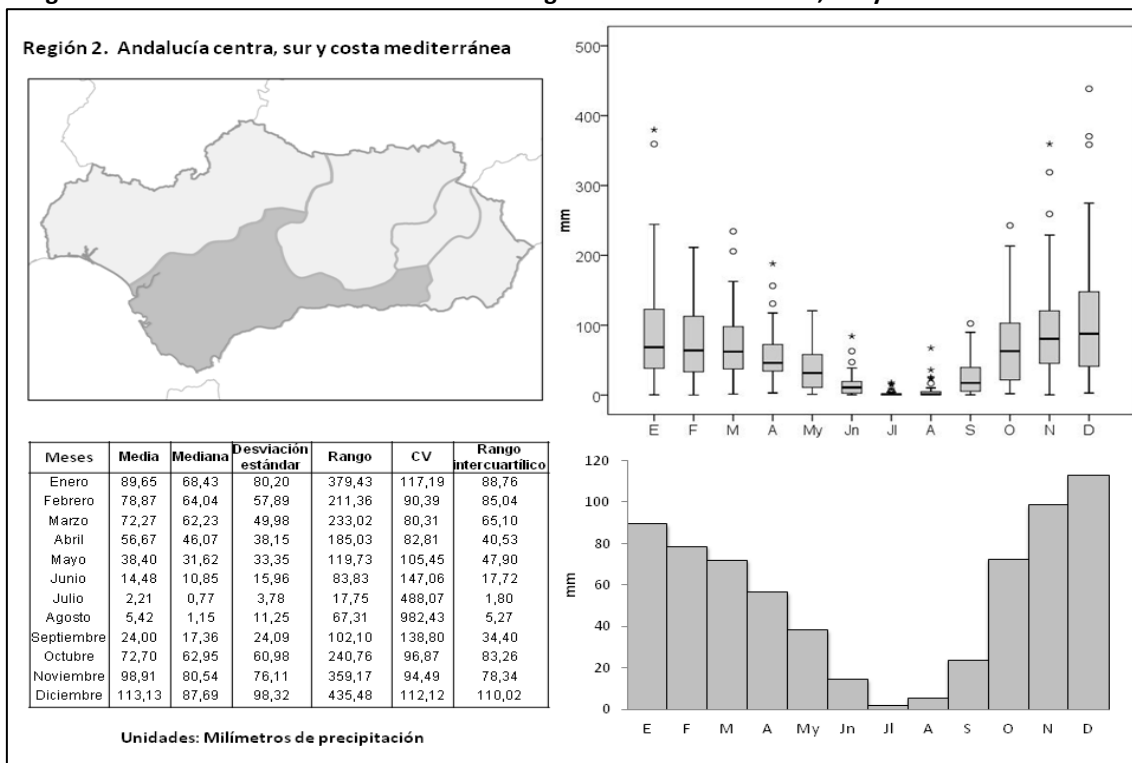
- **Zona 2. Andalucía central, sur y costa mediterránea**

Esta zona (Figura 44.8) se extiende desde la desembocadura del Guadalquivir, la margen derecha del valle y desde el Subbético cordobés hacia el sur por toda la costa mediterránea hasta el campo de Dalías y Sierra de Gádor donde acaba (incluyendo parte de la vertiente sur de Sierra Nevada).

La región está bajo la influencia de los flujos del oeste, especialmente debido a las perturbaciones atlánticas que penetran desde el suroeste y que experimentan un efecto de disparo al encontrar la Serranía de Ronda. Este régimen también es resultado de la incidencia de los vientos del este, especialmente significativa en las vertientes montañosas de barlovento, que presentan marcados gradientes

pluviométrico positivos y una elevada frecuencia de nieblas de retención orográficas causantes de precipitaciones ocultas (Gómez-Zotano *et al.*, 2015). El mismo efecto se produce con los flujos procedentes del noroeste y del Mediterráneo (Romero *et al.*, 1999).

Figura 44.8. Caracterización estadística de la región 2. Andalucía central, sur y costa mediterránea.



Elaboración propia.

La última región presenta una precipitación anual media de 666,72 mm. Como podemos apreciar en la figura superior, el mes más lluvioso es diciembre, con una precipitación media de 113 mm, seguido de noviembre y enero. Como en los demás casos, los meses más secos son julio y agosto. Estos dos meses presentan valores extremadamente atípicos que se traducen en unos indicadores de dispersión bastante altos: un coeficiente de variación de más del 200% para el mes de agosto.

Las regiones 1 y 2 son bastante similares, presentando las mayores diferencias en los meses de noviembre y diciembre con valores ligeramente superiores. La diferencia fundamental reside en las funciones de distribución que los meses presentan, con distintos niveles de asimetría que se observan en la diferente posición de la mediana dentro de la *caja*. No podemos descender a este nivel de detalle en nuestra descripción aunque aportaría información sobre las diferencias entre estas zonas.

La extensión de este dominio abarca la costa mediterránea y los relieves de la sierra de Cádiz y Málaga que engloban comportamientos pluviométricos muy diferentes. De hecho, se separan en la siguiente división en nueve regiones. Como exponen Romero y otros (1999), estos dos ámbitos se unifican porque en la costa mediterránea la

precipitación se produce también por los flujos del este, asociados con incursiones meridionales de aire polar marítimo que viene del océano Atlántico y desemboca en el mar Mediterráneo tras girar de forma ciclónica (Capel Molina, 1981). Posiblemente, lo que diferencia a este ámbito de la siguiente clasificación, es la llegada de masa de aire continental tropical, los vientos húmedos y cálidos del Mediterráneo provenientes del este y sureste, y los procesos de precipitación convectivos, muy intensos cuando existe aire más frío en altos niveles de la atmósfera (Romero *et al.*, 1999).

Como expone Gómez Zotano (2015), en este dominio se encuentran, además, “los máximos pluviométricos de Andalucía, con valores medios cercanos a 2.000 mm/año en la sierra de Grazalema, macizo en el que los registros absolutos superan los 4.300 mm/año, los 1.000 mm/mes y los 300 mm/día; el resto de tierras queda en torno o por encima de 1.000 mm/año”. Por otro lado, la zona que “se corresponde con el litoral del estrecho de Gibraltar y su entorno climático, lo que comprende las llanuras y campiñas centro orientales de la provincia de Cádiz, el extremo occidental de la provincia de Málaga (valles del Guadiaro y Genal) y las sierras litorales de Luna, Ojén, Montecoche, del Niño y Blanquilla. Presenta un gradiente altitudinal comprendido entre 0 y 400-600 mts. El clima del estrecho de Gibraltar es uno de los más singulares de Andalucía, por la alternancia, durante todo el año, de los vientos marinos de componente E y W, que lo caracterizan como un tipo muy atemperado de carácter subhúmedo-húmedo”.

- **Zona 3. Interior de Andalucía y cordillera Subbética**

Esta zona interior se extiende desde el alto Guadalquivir, todo el límite nororiental de la región andaluza, comarca de Las Lomas, cordillera Subbética hacia el sur por el Subbético cordobés, Vega de Granada hasta Sierra Nevada. La pluviosidad es media, decreciente hacia el interior como consecuencia lógica de la progresiva pérdida higrométrica de las masas de aire atlánticas en su desplazamiento al este (Gómez-Zotano *et al.*, 2015). Como explica Pita López, “la penetración de la influencia oceánica por el oeste tiene lugar preferentemente en invierno, pero no tanto en verano. En esta última estación tiende a imponerse un régimen de levante en la región, asociado a una fuerte subsidencia del aire generada por la presencia de una manifestación muy intensa del anticiclón de las Azores; en estas circunstancias las influencias atlánticas se reducen al máximo y ello explica el carácter cálido y seco de los veranos de esta zona” (Pita López, 2003).

La serie representativa de la región tiene una precipitación total anual de 568.17mm, inferior a las dos regiones anteriores, aunque “los valores máximos se aproximan a 800 mm/año en los piedemontes noroccidentales, mientras que los sectores llanos más interiores, algunos incluso en posición relativa de sombra de lluvia, solo reciben 435 mm/año como promedio. Su régimen es típicamente mediterráneo, es decir, a la



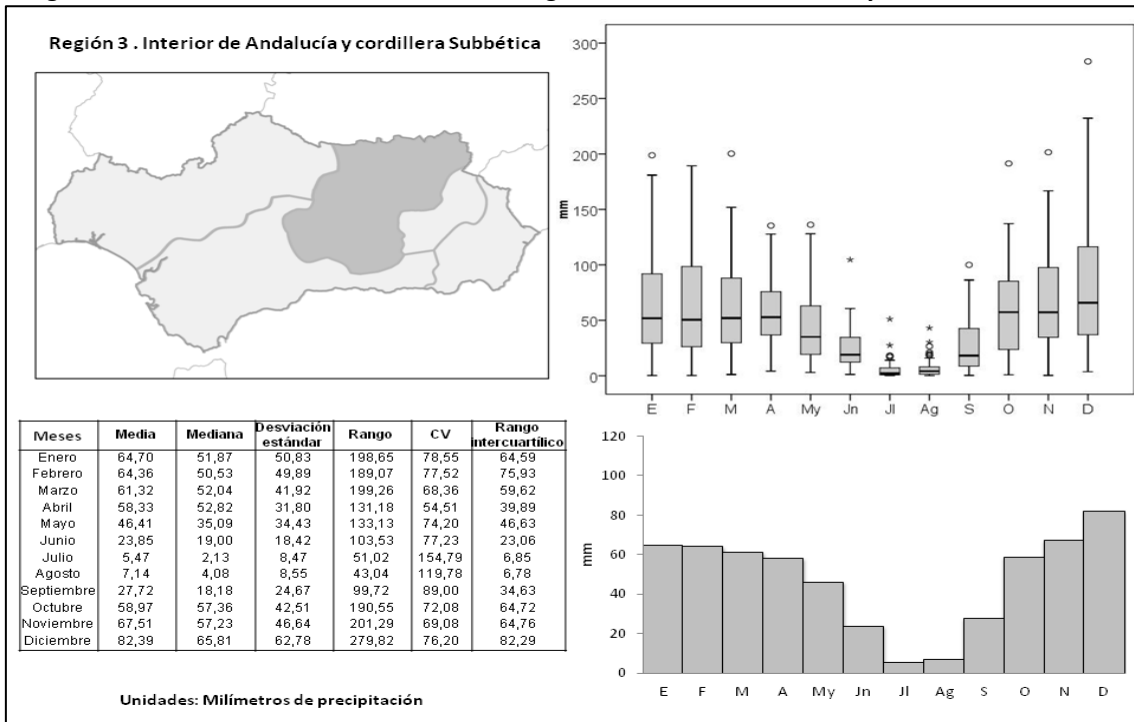
extrema sequedad estival se contrapone un máximo otoño-invernal relacionado con la circulación zonal” (*Op. Cit.*, p.171).

Al igual que en las dos regiones anteriores el mes más lluvioso, es diciembre, con una precipitación media de más de 82 mm (Figura 45.8), el mes más seco es julio, con sólo 5.47 mm de media. Aunque la distribución de la precipitación es asimétrica positiva en todos los meses del año, en este caso existen menos valores atípicos que en la región anterior, aunque siguen destacando los meses de julio y agosto con algunos años que alcanzan valores extremadamente atípicos. La mayor dispersión en valores absolutos la presenta el mes de diciembre que es el de mayor rango (casi 280 mm) y rango intercuartílico (82,29 mm).

Sin embargo, si expresamos esa dispersión de forma relativa a través del coeficiente de variación, el mes más irregular sería julio (con una desviación típica equivalente a más del 150% de su media) seguido de agosto (casi 120%) y a continuación septiembre, con sólo un 89%.

La distribución a lo largo del año es más regular que la que caracteriza el resto de la región, aunque con un máximo principal también en diciembre, a partir de enero los meses se mantienen en valores bastante similares, en torno a 60 mm hasta el mes de abril, sin producirse un descenso escalonado desde valores altos de precipitación cuando se inicia el año. Los valores extremos son notablemente inferiores a los de las dos regiones anteriores.

**Figura 45.8. Caracterización estadística de la región 3. Interior de Andalucía y cordillera Subbética.**



Elaboración propia.

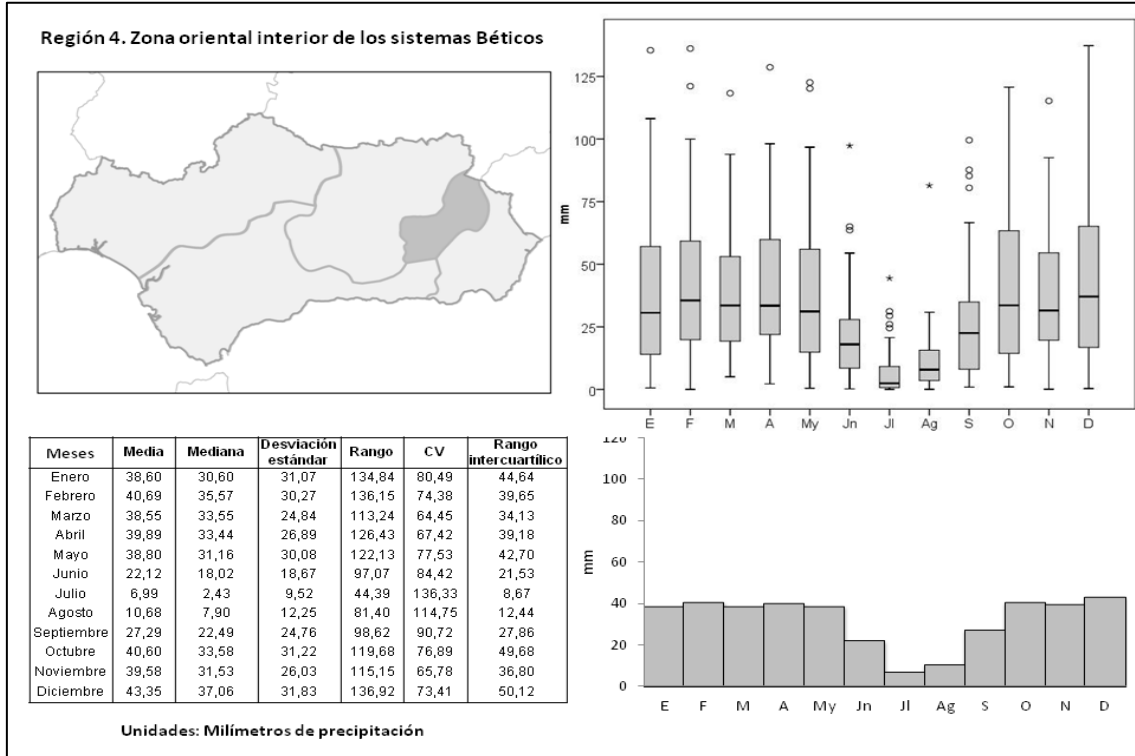
Como explica Gómez-Zotano “la compleja configuración orográfica de la región genera modificaciones sustanciales en los efectos de la circulación atmosférica. La pluviosidad es variable, en función de la orientación y la altitud. No obstante, esta disimetría decrece de noroeste a sureste. Así, los valores máximos, de hasta 1.100 mm, se limitan a las vertientes occidentales, expuestas a barlovento, mientras que los mínimos (300 mm/año) se registran a sotavento en las cumbres más orientales. Su régimen presenta un máximo otoño-invernal, desplazado ligeramente hacia la primavera en los macizos del extremo noreste”.

- **Zona 4. Oriental interior de los sistemas Béticos (subdesértico interior)**

Se distribuye por las altiplanicies que constituyen las Hoyas de Baza y Guadix extendiéndose hacia el noreste por Huéscar “piedemontes y vertientes basales de los macizos montañosos circundantes, en un rango altitudinal de 700 a 1.400 mts hasta los límites con Murcia. Se trata de un dominio de carácter seco a semiárido, donde prevalecen las estaciones solsticiales sobre las equinocciales, debido a la importante altitud y a la posición intermontañosa de las tierras donde se desarrolla” (*Op.Cit.*, pag. 177).

La serie media de esta zona pluviométrica se caracteriza por una precipitación total anual media de tan sólo 387,13 mm, de ahí que lo hayamos calificado de subdesértico. En este caso, la precipitación mensual media es muy parecida todo el año, alrededor de los 40 mm, excepto en los cuatro meses centrales, en los que la precipitación disminuye hasta alrededor de los 25 mm en junio y septiembre, 10 en agosto y sólo 7 en julio. Debido a su carácter montañoso y su situación interior, esta región destaca por el valor mínimo, más elevado que en las demás, causado por el efecto de las lluvias convectivas en verano. Como podemos apreciar en la siguiente figura (Figura46.8), la distribución de la precipitación media mensual es asimétrica positiva en todos los meses del año, destaca la presencia de valores extremadamente atípicos en los meses de junio, julio y agosto, que pueden deberse a episodios excepcionales de tormentas de verano.

Figura 46.8. Caracterización estadística de la región 4. Zona oriental interior de los Sistemas Béticos.



Elaboración propia.

Todos los meses presentan una dispersión considerable en torno a su valor medio. Podemos identificar el mes de julio como el menos regular en cuanto a la precipitación, ya que su desviación típica supone más del 130% de su media, expresada de forma relativa a través del coeficiente de determinación. La precipitación más regularmente distribuida se corresponde al mes de marzo, con un coeficiente de variación superior al 64%.

En general, en toda la zona “los promedios de precipitación anual están, en general, por debajo de 500 mm, con mínimos locales semiáridos de 280 mm en enclaves deprimidos y muy aislados de la zonalidad, y máximos aún más puntuales de hasta 680 mm en determinadas vertientes montañosas, donde son frecuentes fenómenos de retención orográfica de las masas de aire húmedas. El máximo pluviométrico se reparte entre el otoño y la primavera, con un mínimo relativo invernal y otro absoluto estival que reflejan, respectivamente, el carácter continental y la mediterraneidad de este clima”(Gómez-Zotano *et al.*, 2015).

El aislamiento debido a los relieves montañosos circundantes y la altitud, hace que sea un clima muy extremado. Este ámbito, rodeado de relieves montañosos, se sitúa en la sombra pluviométrica de todos los flujos, muy marcado a sotavento por las Sierras de Cazorla y Segura y es la causa de su prolongación en dirección nordeste, hacia Murcia.

- Zona 5. Sudeste subdesértico

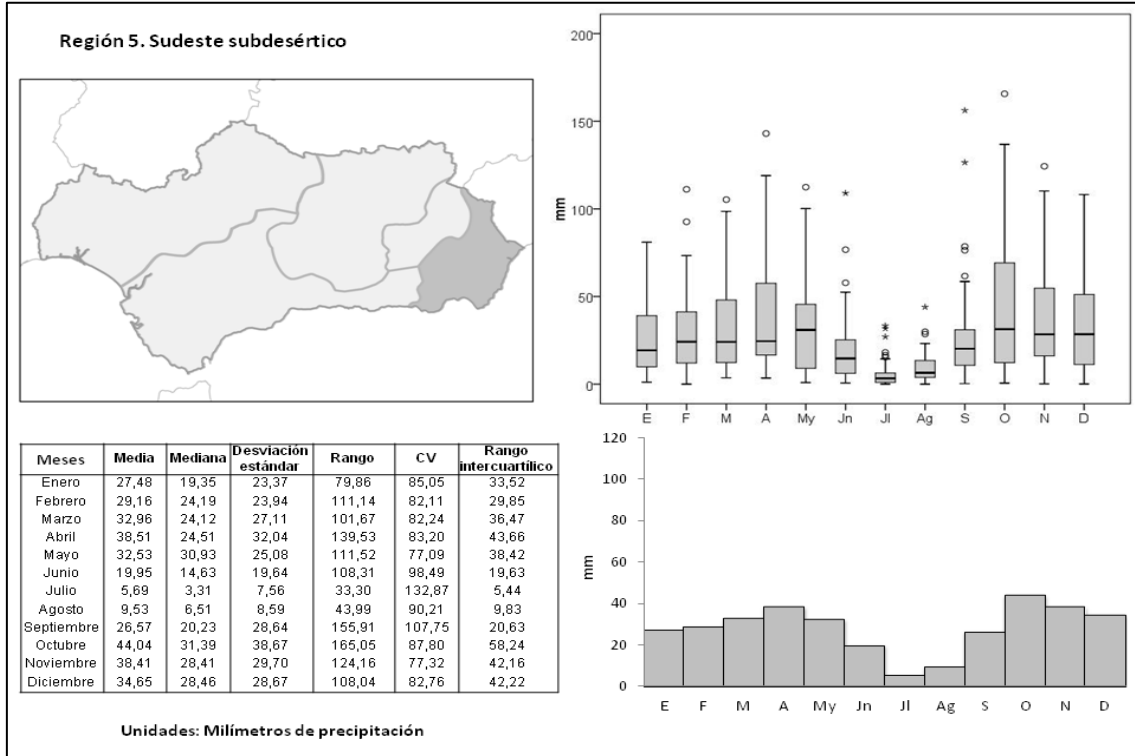
Este dominio coincide prácticamente con los límites de la provincia de Almería y abarca toda la provincia de Murcia, incluida en nuestro análisis. Como analiza Pita López “el hecho distintivo aquí es la escasez de precipitaciones, que hace de esta zona el área más seca de Europa. En conjunto, las precipitaciones son inferiores a 200 mm y en algunos puntos cercanos a Cabo de Gata ni siquiera se alcanzan los 150 mm. Estas precipitaciones se producen, además, en un número reducido de episodios de lluvias muy intensas, lo cual le otorga una fuerte torrencialidad y acentúa la aridez de la zona” (Pita López, 2003).

La región 5 es la que presenta una precipitación anual más escasa, 339,49 mm como media y se caracteriza por una alta variabilidad, pues tiene un coeficiente de variación de más del 30%. Esta baja pluviometría se debe a la posición marginal de sus tierras respecto a la circulación del oeste, lo que determina que los registros pluviométricos alcancen el umbral de la aridez, menos de 200 mm/año, en determinados puntos. El efecto orográfico permite que en enclaves muy locales de las sierras litorales se registren valores cercanos a 450 mm/año, como recoge la Figura 47.8.

La precipitación mensual media oscila entre los 44 mm de octubre y los 5.7 de julio, y la máxima se da en otoño y primavera, siendo abril el segundo mes más lluvioso, con una precipitación media de 38.51 mm, lo que se corresponde con el régimen típico de la fachada mediterránea peninsular. El mínimo lo encontramos en julio, seguido del mes de agosto.

Al igual que en las otras regiones, todos los meses presentan una distribución de las precipitaciones bastante asimétrica, con valores atípicos en casi todos ellos, con la excepción de los meses de enero y diciembre, y con valores extremadamente atípicos en los meses estivales principalmente en junio. Es especialmente llamativo el caso de septiembre, con dos valores muy extremos.

Figura 47.8. Caracterización estadística de la región. Sudeste subdesértico.



Elaboración propia

A modo de **conclusión**, si comparamos, de manera sucinta, cómo los grandes ámbitos que los primeros cortes delimitan en el dendrograma, se establecen las principales características de similitud entre las regiones.

Las regiones 1, 2 y 3 se asemejan en los valores totales anuales de precipitación, entre los casi 570 mm de la región 2 y los 667 de la región 5 (valores medios), y 548 mm y 618 mm respectivamente (valores medianos). También son similares sus regímenes, ya que en todas ellas el máximo principal se produce en diciembre, seguido de noviembre y enero. En los tres casos los mínimos se dan en julio, seguido de agosto, aunque en esto coinciden también las otras dos regiones ya que es un rasgo fundamental de todo el clima andaluz. Esta coincidencia se explica por las siguientes circunstancias: la influencia atlántica, la penetración de los vientos del oeste, las perturbaciones del frente polar que penetran por el valle del Guadalquivir y la disposición orográfica que favorece la extensión de las influencias marítimas (Capel Molina y Andujar Castillo, 1978).

Por su parte, las regiones 4 y 5, que reciben las influencias atlánticas a sotavento, presentan un claro dominio del ámbito mediterráneo en sus características pluviométricas. Constituyen las zonas de una menor precipitación con menos de 400 mm anuales de media en los dos casos. El régimen de precipitaciones oriental se distingue claramente de los otros patrones de lluvia en Andalucía; de hecho, esta zona de carácter árido, en la que predominan los mecanismos dinámicos, marcadamente

convectivos, es la que determina su diferencia en el proceso de regionalización. La razón por la que destacan, frente a las otras tres regiones, es debida a presentar precipitaciones medias y medianas más elevadas en los meses de julio y agosto, y a su vez, una menor dispersión, en términos relativos, en esos meses. Por lo que respecta al régimen de precipitación, estas dos regiones no tienen semejanzas comunes tan marcadas entre sí, como las otras tres. Mientras que la región 5 presenta un máximo principal en octubre y otro secundario en abril, en la región 4 los valores medios son muy similares, en todos los meses, a excepción de los cuatro centrales.

### 8.3. Comparación con otras regionalizaciones

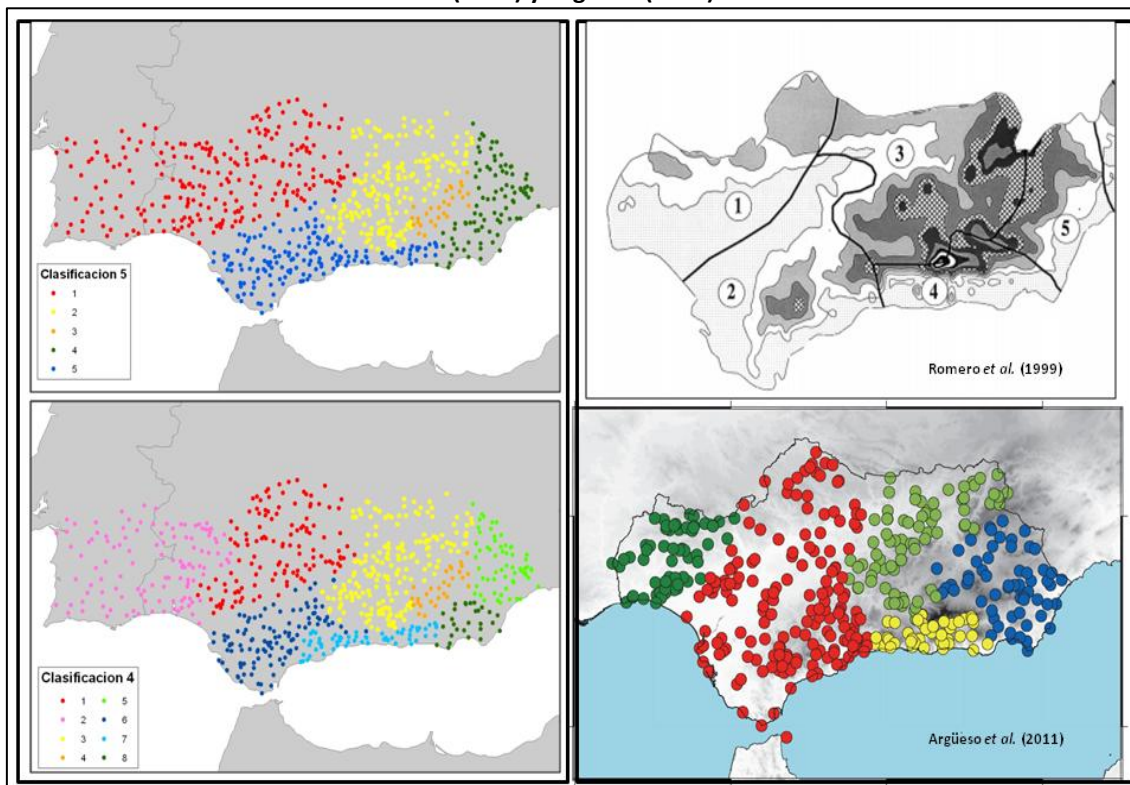
La comparación con los resultados de otros estudios académicos que hayan empleado metodologías similares, resulta fundamental para comprobar la coherencia y validez de nuestra investigación. En este sentido, mencionábamos en el estado de la cuestión sobre regionalizaciones, dos estudios precedentes:

- Regionalización *PRECLIMED* (Romero et al., 1999b) propuesta por el grupo de Meteorología del Departamento de Física de la Universidad de las Islas Baleares (Palma de Mallorca).
- Regionalización *PROCLIAN* (Argüeso et al., 2011) realizada Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Granada.

Ambas investigaciones llevan a cabo el proceso de regionalización mediante diferentes procedimientos, en pasos múltiples, a escala diaria, combinando el ACP y AC. Constituyen diferencias importantes respecto a nuestra investigación, ya que diferentes escalas temporales y procedimientos pueden conducir a otro sistema de regionalización.

En la siguiente Figura 48.8 se presentan los resultados de nuestra regionalización estableciendo 5 y 9 regiones, además de las dos investigaciones antes mencionadas. A pesar de las diferencias existentes, hay que destacar la sorprendente similitud general. Advertían Argüeso y otros que “una regionalización casi idéntica se obtuvo en una de las soluciones propuestas por Romero et al. (1999), con pequeñas diferencias causadas probablemente por la inclusión de toda la costa mediterránea española en su estudio” (Argüeso et al., 2011).

Figura 48.8. Comparación de nuestra propuesta de regionalización pluviométrica con las de Romero et al. (1999) y Argüeso (2011).



Elaboración propia.

Las grandes zonas se repiten, aunque con extensiones y límites que varían entre ellas. Existe una coincidencia entre las dos clasificaciones que hemos establecido y las dos zonificaciones de las investigaciones recogidas; incluso el pasillo de la vega de Granada, afectado por una cierta influencia atlántica hasta Sierra Nevada, se identifica igualmente en la regionalización de Argüeso y nuestra propuesta. Quizás la diferencia más notable en la propuesta de estos autores, reside en la zona central (puntos rojos) que se extiende de sur a norte, sin esa ligera orientación SW que supone la disposición del valle del Guadalquivir a los flujos atlánticos.

En relación a nuestra propuesta, los dos aspectos de mayor relevancia que la diferencian de las anteriores son:

- La zona de la costa mediterránea se extiende en nuestra propuesta desde la Sierra Blanca y vega de Málaga hasta la Sierra de Gádor; en las otras propuestas comienza en los Montes de Málaga y Sierra de Tejeda. El límite de esta región coincide con Argüeso y otros, mientras que en la propuesta de Romero y otros se extiende hasta los límites con Murcia.
- La segunda diferencia más notable es la delimitación de la zona correspondiente a las Hoyas de Baza y Guadix al ámbito subdesértico interior, que no aparece en

las otras propuestas y que puede deberse a variaciones metodológicas o a la propia distancia de corte establecida en cada una de ellas.

Se plantea aquí la cuestión de si estas diferencias son debidas al empleo de metodologías diferentes o a un efecto de la escala temporal de nuestro análisis. En un reciente estudio académico de fin de grado, en el que se analizaba el comportamiento pluviométrico de la Sierra Norte de Sevilla, sorprendía encontrar mejores correlaciones en los meses de verano entre dos zonas que, por el contrario, mantenían un comportamiento completamente diferente el resto del año. Es posible que los mecanismos convectivos, responsables fundamentales de las precipitaciones estivales, uniformicen desapareciendo las diferencias espaciales que se observan el resto del año (Sigüenza Fuentes, 2015). Las precipitaciones diarias en las zonas internas del ámbito subdesértico interior de las cordilleras Béticas, son similares a los que generan las aportaciones durante el verano en el conjunto de la región andaluza, lo que podría explicar que esta zona no aparezca en las regionalizaciones a escala diaria.

Mencionamos en los estudios relativos a Andalucía realizado por la administración autonómica el **Mapa de áreas de pluviometría homogénea en Andalucía** de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. No hemos podido tener acceso a la metodología para la generación de esta regionalización pluviométrica por lo que resulta difícil hacer un estudio comparativo con todas las propuestas analizadas, incluida la nuestra. A simple vista observamos que las diferencias son notables. Posiblemente el fin al que se destina de esta zonificación al cálculo la erosividad de la lluvia pueda justificar el que no exista correspondencia con las anteriores, pero es algo que no podemos comprobar. Sería interesante cruzarlas aunque, al no existir una leyenda explicativa, los ámbitos que se delimitan diferenciados en el mapa por gamas de color, no sabemos si responden a subdivisiones de zonas más generales, que sí podrían tener cierta similitud con las otras propuestas.

En cualquier caso nuestra propuesta de regionalización podría ser complementaria ya que está elaborada para un fin tan específico, y podría ser incluida en la REDIAM (Figura 49.8) dentro de los servicios *web map service* (wms) a fin de ser descargada y empelada en aplicaciones más diversas. Asimismo la caracterización de estas aéreas podría constituir una información de apoyo útil.

En resumen podemos aceptar que la propuesta de regionalización pluviométrica es coherente con otras precedentes a pesar de haber sido realizada con una metodología diferente y a una escala temporal distinta. Esto no hace pensar que:

- Las regiones que se definen tiene un patrón de comportamiento que las delimita con mucha claridad.



- Las regionalizaciones son prácticamente idénticas a las ya realizadas a escala mensual y diaria.
- Las diferencias debidas a la utilización de periodos en los datos y metodología diferentes no introducen diferencias sustanciales.
- Que la configuración del relieve es el responsable fundamental de la diferenciación de las regiones y tiene un peso mucho mayor que la componente temporal.

Figura 49.8. Mapa de áreas de pluviometría homogénea en Andalucía.



Fuente: REDIAM

Por todo ello la validación de nuestra propuesta queda demostrada tanto desde un punto de vista estadístico, con buenos índices de Jaccard, como por su coherencia geográfica y climática, así como por la consistencia con los resultados de investigaciones anteriores de gran prestigio científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- CAPEL MOLINA, J. J. 1981. *Los climas de España*, Barcelona, Oikos- Tau.
- CAPEL MOLINA, J. J. & ANDUJAR CASTILLO, F. 1978. Mapa pluviométrico de Andalucía. *Paralelo 37*, 2, 197-209.
- ESTEBAN- PARRA, M. J., RODRIGO, F. S. & CASTRO-DIEZ, Y. 1998. Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology*, 18, 1557-1574.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).
- HENNIG, C. 2007. Cluster-wise assessment of cluster stability. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52, 258-271.
- JACCARD, P. 1901. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura. *Bull Soc Vandoise Sci Nat*, 37, 547-579.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2003. El clima de Andalucía. *Geografía de Andalucía*. Madrid, Editorial Ariel,137-173.
- PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR ALBA, M., MEGIAS CASAS, M., CAMARILLO NARANJO, J. M., CORZO TOSCANO , M. & RODRIGUEZ DÍAZ, V. 1999. Diseño de una metodología de espacialización de variables climáticas. Estructuración de bases de datos de clima y obtención de indicadores ambientales. En: SEVILLA, U. D. (ed.) *Investigación y desarrollo medioambiental en Andalucía (1995-1998)*. Sevilla, Universidad de Sevilla,87-94.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. 2000. Fuentes y métodos para la caracterización de ambientes meteorológicos. En: MARTÍ EZPELETA, A. (ed.) *Clima y calidad ambiental*. santiago de Compostela, Asociación de Geógrafos Españoles,174-191.
- ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.

- SANZ DONAIRE, J. J. & JIMÉNEZ BLASCO, B. C. Pautas espaciales en la variabilidad de las precipitaciones españolas. Anales de geografía de la Universidad Complutense, 2006. Servicio de Publicaciones.
- SIGÜENZA FUENTES, A. 2015. Generación de una cartografía de precipitación en el parque natural sierra norte de Sevilla. Sevilla, Universidad de Sevilla.
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible:  
[http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/The\\_role\\_of\\_climatological\\_normals\\_in\\_a\\_changing\\_climate\\_Sp.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/The_role_of_climatological_normals_in_a_changing_climate_Sp.pdf) [Acceso 16 de marzo 2013].
- VON STORCH, H. & NAVARRA, A. 1999. *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*, Springer.

## **C**APITULO 9

# **R**EPRESENTATIVIDAD DE LA RED DE MEDICIÓN ACTUAL SEGÚN LA PROPUESTAS DE REGIONALIZACIÓN PLUVIOMÉTRICA PARA ANDALUCÍA

### **9.1. La representatividad de las redes de medición climática**

9.1.1. ¿Qué entendemos por representatividad una red de observación?

9.1.2. Importancia de la representatividad de la red en los estudios climáticos.

### **9.2. Representatividad de la red pluviométrica de Andalucía según la OMM**

### **9.3. Evaluación de la red activa según la calidad de series de precipitación**

9.3.1. Estado actual el número de lagunas

9.3.2. Estado actual según la longitud

9.3.3. Estado actual según el número de lagunas y la longitud

### **9.4. Regionalización, representatividad y estado actual de la red pluviométrica**

### **9.5. Hacia una optimización de la red de observación pluviométrica**

### **9.6. Reconocimiento de las redes de medición en el contexto de cambio climático**

### 9.1. La representatividad de las redes de medición climática

En este capítulo, nos proponemos hacer una valoración de la representatividad de la red activa de medición pluviométrica de Andalucía en la actualidad; hemos elegido diferentes criterios que vamos a relacionar con nuestra propuesta de regionalización pluviométrica, lo que nos permitirá llegar a conclusiones que consideramos pueden ser de utilidad para la gestión de la información climática y medioambiental.

Abordaremos, inicialmente, cuestiones relacionadas con la propia valoración de la representatividad de las redes de medición a fin de adentrarnos en este ámbito, citando alguna de las recomendaciones básicas que establece la principal institución meteorológica internacional: la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Hemos de advertir que para llevar a cabo este estudio sólo nos centraremos en el análisis de la representatividad de la red actual de medición pluviométrica de la AEMET, por ser el principal organismo responsable de la información meteorológica, por su carácter estatal y por disponer de series históricas, lo que nos permite combinar los dos criterios de evaluación que emplearemos, ya que con las restantes redes no sería posible debido a que su periodo temporal de registro no es suficientemente largo como para poder establecer una comparación con la red histórica.

La conexión entre los estudios climáticos y la representatividad de la red de estaciones es un elemento fundamental, que no suele ser tenido en cuenta en los resultados de una investigación. Mientras que para llevar a cabo cualquier análisis basado en datos climáticos es necesario disponer de bases de datos de calidad y homogéneas, no se evalúa, sin embargo, el efecto de la mayor o menor representatividad de la red de estaciones utilizada. En este sentido advierten Ellsaesser y otros (1986) “ que el abandono tácito por parte de los climatólogos de los problemas de representatividad espaciales queda ilustrado por la escasez de mapas que muestren las redes de estaciones, su densidad o los sesgos espaciales que se producen”. Si estas cuestiones fuesen analizadas en cada territorio y variable climática, se podría ajustar y valorar mejor la información climatológica que se utiliza, desde un punto de vista espacial.

El problema reside, en parte, en que algunas cuestiones básicas en climatología, se abordan separadamente a pesar de que están profundamente interrelacionadas. Y así, aspectos como el control de calidad de los datos, la homogeneización, la interpolación espacial, el examen de representatividad de las redes de estaciones y la detección estadística de cambios en el clima, no se abordan conjuntamente. Tomemos como ejemplo la interpolación espacial de las variables climáticas que exige, como condición necesaria, disponer de series homogéneas; y a su vez, la eficiencia de las estimaciones depende, de la representatividad de la red de observatorios meteorológicos.

Szetimrey (2003) sintetiza estas relaciones en la siguiente tabla (Tabla 1.9):

**Tabla 1.9. Relación entre varios de los temas básicos en climatología.**

<b>Tema</b>	<b>Conexión con otros temas</b>
Interpolación espacial	Condición necesaria: series de datos homogéneas ("muestra") <b>Eficiencia: depende de la representatividad de la red de estaciones</b> Requisito metodológico: consideración de cambio climático
<b>Representatividad de la red de estaciones</b>	Definición, interpretación: puede estar basado en la interpolación espacial Condición necesaria: series homogéneas ("muestra") Requisito metodológico: consideración de cambio climático
Control de calidad y homogeneización de las series de datos	Una de las herramientas: La interpolación espacial <b>Eficiencia: depende de la representatividad de la red de estaciones</b> Requisito metodológico: examen de un posible cambio climático
Detección de cambio climático	Condición necesaria: series de datos homogéneas <b>Eficiencia: depende de la representatividad de la red de estaciones</b>

Fuente: Szetimrey (2003)

La conexión entre cuestiones climáticas esenciales y básicas, muestra cómo la representatividad de la red de estaciones es un elemento fundamental que no suele ser considerado en los resultados.

### 9.1.1. ¿Qué entendemos por representatividad de la red de estaciones?

Según la Organización Meteorológica Mundial “una red de estaciones consiste en varias estaciones del mismo tipo (tales como un conjunto de estaciones pluviométricas, estaciones de medición de la radiación o estaciones climatológicas) que se administran como un grupo” (OMM, 2011).

La finalidad de los sistemas de observación representativos, es la de ser capaces de captar la variabilidad temporal natural del clima, a fin de que las medias espaciales de los parámetros climáticos resuman correctamente este comportamiento. Las redes nacionales de clima deben proporcionar una representación satisfactoria de las características climáticas del país. Hay que señalar que la densidad y distribución de las estaciones climatológicas que se establecen en una red terrestre de una zona dada, dependen, entre otras, de las circunstancias que exponemos a continuación (OMM, 2011):

- **Los elementos meteorológicos**

Dependiendo de los fenómenos que vayan a observarse, las tasas de variación espacial y temporal cambiarán según la variable climática. Una red poco densa es suficiente para el estudio de la presión de la superficie; una red bastante densa lo es para el estudio de la temperatura máxima y mínima, y una muy densa, para

examinar la climatología de la precipitación, el viento, las heladas y la niebla, sobre todo, en regiones de topografía pronunciada.

- **Las características geográficas de la zona.**

Las estaciones deberán estar localizadas de forma que proporcionen características climáticas representativas y que se ajusten a todos los tipos de terreno tales como: llanuras, montañas, mesetas, costas e islas y también a la cubierta de la superficie: bosques, zonas urbanas, zonas agrícolas y desiertos de la zona correspondiente. A su vez, los efectos varían según la escala, de ahí que la importancia de los efectos del terreno y la costa sea menor a escalas de 100 km y mayor en distancias inferiores a menos de 10 km (Daly, 2006). Aspectos como la topografía, los usos del suelo, etc., determinarán la proporción en que varían los elementos climáticos en una zona, que a su vez diferirá de un elemento a otro. En regiones de topografía pronunciada, la observación de elementos como la precipitación o el viento, exigirá una red muy densa.

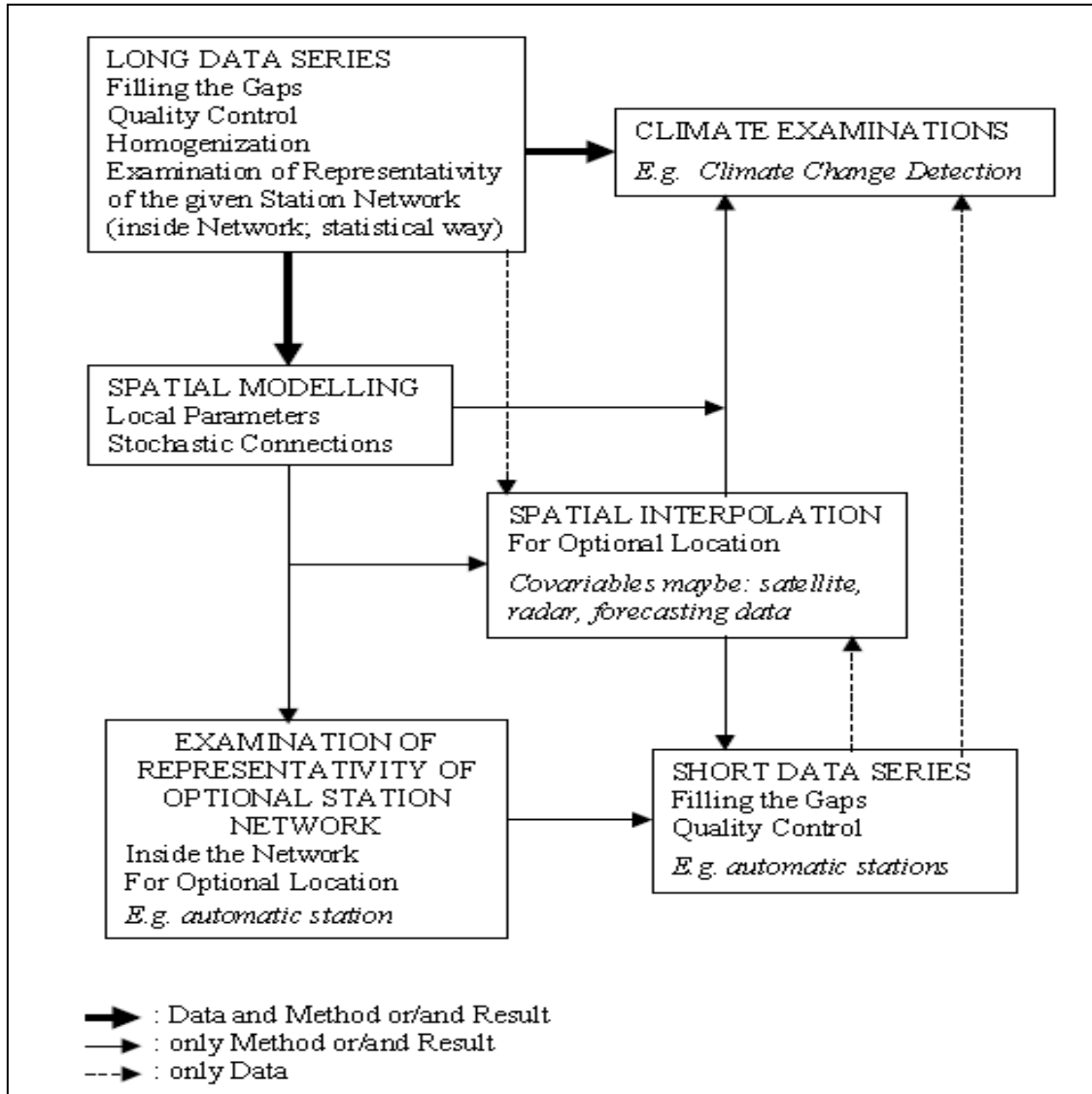
- **La aplicación y finalidad de la información climática.**

La densidad de las estaciones dependerá de la finalidad para la que se efectúen las observaciones y del uso que se haga de los datos, de modo que se necesitará una mayor densidad de estaciones en aquellos lugares en los que la información sea utilizada para seguimiento del clima y la salud, en áreas muy pobladas, y una menor densidad en zonas menos habitadas.

La evaluación de la representatividad de las redes de observación, es una tarea compleja que se puede abordar desde diferentes perspectivas y que incluyen técnicas de análisis objetivo y metodologías para aplicaciones específicas. Como recoge las *Directrices sobre sistemas y redes de observación climática* (WMO, 2003) “el enfoque más simple sería identificar regiones climáticas homogéneas y asegurarse de que cada región presenta una representación muestral adecuada. Existen otros métodos más sofisticados que podrían examinar las características y ventajas particulares de las estaciones disponibles (por ejemplo, Peterson *et al.*, 1997) o utilizar un análisis objetivo para ayudar a la selección de red (por ejemplo, Daley 1993, Jones y Trewin 2000) (...). La mayoría de los métodos de optimización se basan en datos de una red ya existente, que ha estado disponible durante un período suficientemente largo como para reunir datos sobre los campos meteorológicos, basándose en análisis estadísticos tanto temporales como espaciales de series temporales.”

En la siguiente figura (Figura 1.9) se sintetizan los procesos y etapas en los estudios que se sustentan en la evaluación de la representatividad de las redes de observación climáticas.

Figura 1.9. Conexión entre temáticas y procesos climáticos.



Fuente: Szetimrey (2003)

Todas estas cuestiones tienen importantes consecuencias para los estudios y aplicaciones climáticas y que, como comenta Daly (2006), muchos usuarios, sin especialización en climatología, no pueden hacer una evaluación crítica para conocer la idoneidad de una determinada aplicación sobre los datos climáticos que utilicen. Por esta razón, hacemos algunas consideraciones acerca de la relevancia y posibles efectos en la información climática de algunas cuestiones relacionadas con las redes y sistemas de observación.



### 9.1.2. Importancia de la representatividad de la red en los estudios climáticos

Una red de medición consiste, en los puntos de medición de los que extraemos una muestra estadística a partir de la cual conocemos rasgos de la población. Según la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA, 2002), en el diseño de redes la elección de la muestra es una parte fundamental de la recopilación de datos, ya que proporciona una base científica en la toma de decisiones. El diseño de muestreo, bien desarrollado, juega un papel fundamental porque asegura que la información es precisa y los datos suficientes para extraer conclusiones con fiabilidad. Para ello deben ser considerados los siguientes aspectos:

- La idoneidad y exactitud al registrar la información.
- Los efectos derivados de los errores de medición.
- La representatividad de los datos respecto al objetivo del estudio.

Sólo teniendo presente estas cuestiones, es posible abordar el diseño de muestreo de la red de medición con la representatividad exigible. Por esta razón, la agencia estadounidense toma la definición de los estándares definidos por la Sociedad Americana para el control de calidad, que considera la representatividad como “la medida del grado en que los datos se muestran con precisión y representan una característica de una población, las variaciones de los parámetros en un determinado punto de muestreo para un proceso ambiental” (*American National Standards Institute / American Society for Quality Control (ANSI / ASQC), 1994* citado por EPA, 2002).

A menudo, se ignoran los errores espaciales asociados a los datos climáticos que se asumen, por defecto, como insignificantes o menores que los asociados con otras fuentes. Esta suposición puede conducir a graves errores en la interpretación de los resultados, las conclusiones y las decisiones que se toman a partir de ellos (Daly, 2006).

Los requisitos exigibles al diseño de una red de medición, para que la recolección de datos sea adecuada y de calidad, se pueden tener en consideración cuando se trata de crear nuevos sistemas, puesto que las redes que existen no fueron diseñadas con fines climatológicos ni con estos condicionantes. En este sentido Willmott afirma que “la exactitud de cualquier análisis metodológico depende de la precisión de los datos y la densidad de las estaciones disponibles que los suministran. Desde el punto de vista de los requisitos exigibles, las redes de medición existentes resultarían completamente irracionales desde el momento en que existen zonas con datos extremadamente dispersos junto con otras donde la información es redundante. Por esta razón las cuestiones relacionadas con la obtención de una red óptima de observación han recibido tanta atención en el pasado” (Willmott *et al.*, 1991).

Hay que señalar que los cambios que se producen en las redes de observación, causan una gran incertidumbre en las estimaciones de los elementos climáticos. El mismo autor ha demostrado que una distribución desigual de las estaciones, introduce sesgos que tienen efectos significativos sobre la estimación de las tendencias en las temperaturas y en las precipitaciones, especialmente a escala regional (Willmott *et al.*, 1994; Willmott *et al.*, 1991) De ahí que cada red debe optimizarse para que tenga un funcionamiento adecuado y proporcione datos, a un costo razonable. Es frecuente, que al planificar y gestionar una red terrestre, se adopte una solución intermedia entre la densidad ideal de las estaciones y los recursos disponibles para instalar, explotar y administrar dicha red.

En el siguiente epígrafe, abordaremos la evaluación de la representatividad de la red actual de medición pluviométrica de Andalucía de la AEMET, de acuerdo con las directrices y criterios de densidad para redes climatológicas de la OMM.

## 9.2. Representatividad de la red pluviométrica de Andalucía según la OMM

A escala global, la recomendación de la OMM para redes climatológicas es bastante general ya que sólo indica que “la red debe representar satisfactoriamente, las características climáticas de todos los tipos de terreno en el territorio (por ejemplo llanuras, regiones montañosas, mesetas, costas, islas, etc.)” (OMM, 2010). Según la *Guía para prácticas climatológicas* (OMM, 2010), la densidad y distribución de las estaciones climáticas dependen de la variable a observar, la topografía y los usos del suelo. Esta misma guía, especifica que se necesitan redes muy densas para examinar la climatología de la precipitación, especialmente en regiones de complicada topografía, sin ofrecer unos umbrales claros de densidad y de distribución de las estaciones, limitándose a afirmar que “las estaciones deben estar emplazadas de modo que sean representativas de la climatología de cada tipo de terreno: llanuras, montañas, mesetas, costas, islas; así como de cada tipo de uso del suelo: bosques, áreas urbanas, desiertos, etc.”

De forma general, resulta complicado definir para cualquier zona del planeta, el número de estaciones necesarias para que sean representativas de la variedad de las condiciones climáticas. Por esta razón, la OMM plantea en estos documentos que el criterio más sencillo consistiría en clasificar las zonas en función de la variabilidad zonal y de la estacionalidad de la lluvia, de modo que una red mínima de estaciones podría desarrollarse a partir de un mapa regional de precipitación anual.

No obstante se advierte que “es necesario considerar como una categoría especial aquellos países con una distribución de las precipitaciones muy irregulares. En tales casos, no es aconsejable basar la clasificación en esta única característica”(WMO, 2008).

Donde sí encontramos recomendaciones específicas es en la *Guía para Prácticas Hidrológicas* (OMM, 2011; WMO, 2008) en la que se recoge que: “como tal, las densidades de diseño deben ser ajustadas para reflejar las condiciones socio-económicas y fisio-climáticas reales. También deben aplicarse técnicas de análisis matemático basado en computadoras, en donde se dispone de datos que optimizan la densidad de la red para satisfacer necesidades específicas”. En las siguientes secciones, se recomiendan densidades mínimas para los distintos tipos de estaciones hidrológicas, según las diferentes zonas climáticas y geográficas. Estas recomendaciones se basan en la revisión en 1991 de las respuestas de los miembros de la OMM en relación con el proyecto de evaluación de la red básica de esta institución (WMO, 1991) y que se presentan en la Tabla 2.9.

De acuerdo con las recomendaciones generales incluidas en las guías citadas anteriormente, se recomienda una densidad mínima de estaciones pluviométricas para seis tipos de **regiones fisiográficas**: costas, montañas, llanuras, colinas y ondulaciones, islas pequeñas, áreas urbanas, y zonas polares o áridas (WMO, 2008).

La siguiente tabla muestra la densidad mínima (km<sup>2</sup>/pluviómetro) recomendada para cada unidad fisiográfica.

**Tabla 2.9. Densidad mínima (km<sup>2</sup>/pluviómetro) de pluviómetros por unidades fisiográficas según la OMM.**

Unidad fisiográfica	Precipitación	
	Pluviómetros	Pluviógrafos
Costas	900	9.000
Montañas	250	2.500
Llanuras	575	5.750
Colinas y ondulaciones	575	5.750
Islas pequeñas	25	250
Áreas urbanas	-	10-20
Zonas polares/áridas	10.000	100.000

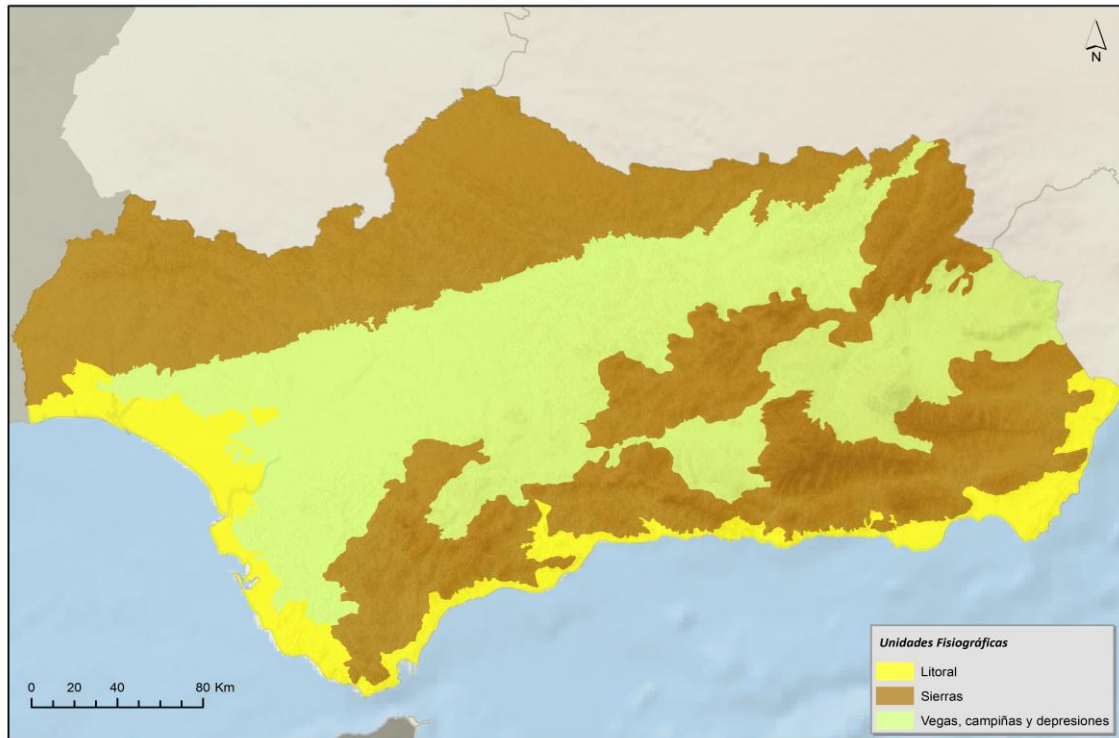
Fuente: OMM (2011)

A partir de estas indicaciones, nos planteamos valorar la densidad idónea para Andalucía, conforme a las unidades fisiográficas que recomienda la OMM que deben ser representativas de la complejidad topográfica de la región, mediante unidades de superficie de distinto tamaño según la densidad recomendada. La finalidad de este análisis es comprobar si la densidad de estaciones pluviométricas en nuestra región es la adecuada, y si responde a los mínimos recomendados para cada una de esas unidades fisiográficas.

Así pues, aplicaremos las recomendaciones generales de la OMM, de acuerdo con las características fisiográficas para Andalucía que, aunque conscientes de que la complejidad geográfica de la región exigiría un estudio más detallado, permite obtener

una primera aproximación a la evaluación de la representatividad de la red de medición pluviométrica (Figura 2.9).

**Figura 2.9. Unidades fisiográficas de Andalucía.**

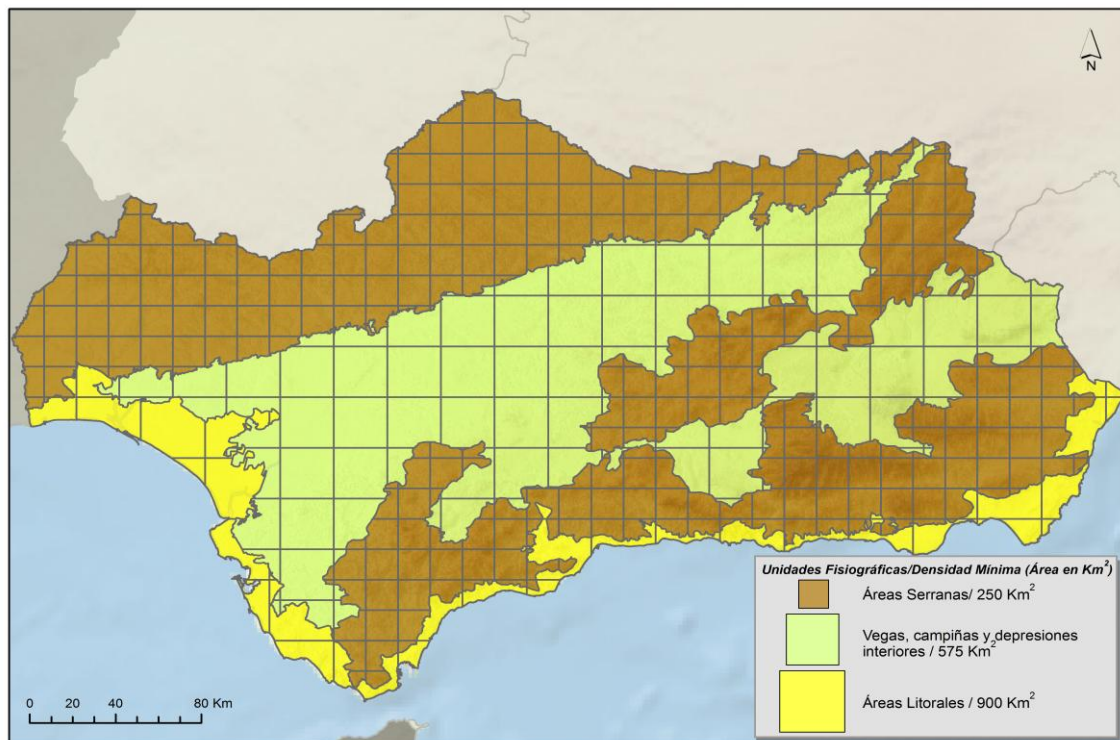


Fuente: Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA)

La delimitación de unidades, según tipologías fisiográficas referidas a nuestro territorio, se encuentra disponible en los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía para escalas intermedias (DERA) llevado a cabo por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Esta información se encuentra en el bloque temático dedicado al Medio físico (G04) en *la capa* relativa a dominios territoriales que “hace una diferenciación de las grandes unidades físico-territoriales que se pueden distinguir en la Comunidad Autónoma de Andalucía. La información procede de la labor de reconocimiento territorial realizada en los trabajos del Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía (POTA), elaborado en 2006 por la entonces Consejería de Obras Públicas y Transportes” (DERA, 2014) y que se presenta en la anterior Figura 2.9.

A partir de la clasificación de unidades hemos creado una malla cuyo tamaño de celdilla varía en función de los criterios establecidos por la OMM en la Tabla 2.9. En ella podemos apreciar cómo la densidad para las colinas y áreas onduladas es igual a la propuesta para las áreas llanas (575 km<sup>2</sup>/estación), por lo que ambas se han considerado dentro de una misma clase. En la siguiente figura (Figura 3.9) podemos apreciar cómo cada unidad fisiográfica presenta una resolución diferenciada de las celdillas y un color distinto de acuerdo con cada tipo.

**Figura 3.9. Unidades fisiográficas según la densidad pluviométrica de la OMM.**

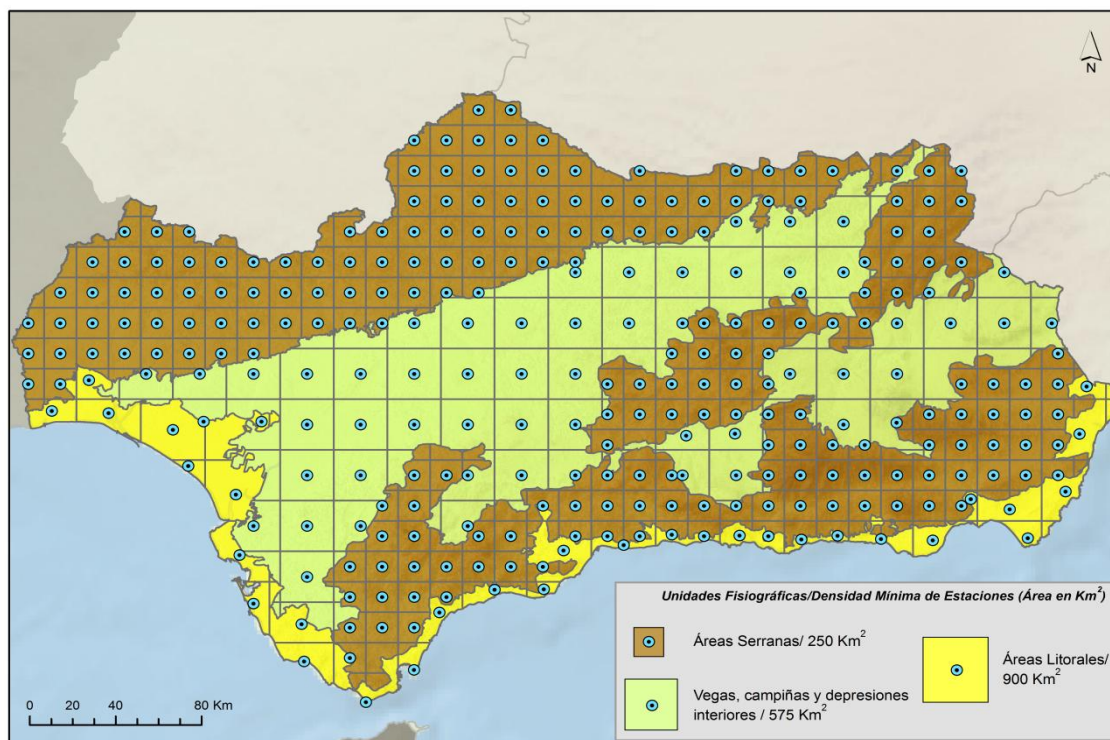


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del DERA.

Si representamos una estación por cada celdilla, obtenemos una primera aproximación de lo que podría ser la densidad de estaciones que debería existir en la región, según los criterios de la OMM para las diferentes unidades fisiográficas. En la representación de la siguiente Figura 4.9 se ha localizado cada estación en el centro de cada celdilla, por lo que en las zonas limítrofes de cada una de las áreas se pueden producir *problemas* de solape o ausencia, algo que podría depurarse pero que para nuestro estudio resulta suficiente.

Dada la complejidad del relieve de Andalucía, los matices que introduce la proximidad al océano Atlántico y al mar Mediterráneo, además de otros factores como su disposición y orientación, esta red resulta insuficiente para ser realmente representativa de la variabilidad pluviométrica, especialmente para todo el ámbito de los Sistemas Béticos. No obstante, a partir de lo que podríamos denominar *mapa potencial de densidad óptima de estaciones pluviométricas en Andalucía según la OMM*, disponemos de una primera aproximación objetiva. La cuestión es si el número y distribución de pluviómetros que se encuentran actualmente activos en la red de la AEMET se adecua a lo recomendado por la OMM, algo que analizaremos en el siguiente punto.

Figura 4.9. Densidad de estaciones óptimas pluviométricas según la OMM.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del DERA.

La propuesta de densidad, según los criterios de la OMM, puede servir de referencia para el análisis y comparación con cualquiera de las redes de medición pluviométrica que existen en la región, aunque sólo lo vamos a relacionar con los observatorios activos de la AEMET en Andalucía.

### 9.3. Evaluación de la red activa según la calidad de series de precipitación

Otro indicador de la representatividad de las redes de observación es la calidad de las series de observación climática, en función de los datos que generan ya que sus características en relación al proceso de medición, condiciona su utilización, incluso independientemente del objetivo final para el que se empleen. Dos son los principales factores que determinan la calidad de una serie de datos climática: la extensión temporal y el número de lagunas, aunque dependiendo de la finalidad para la sean empleadas, las exigencias serán diferentes. En general, se acepta que el menor número de datos ausentes es ya uno de los síntomas evidentes de las garantías de buenas prácticas en las mediciones de un observatorio meteorológico.

A priori, es difícil evaluar cuán largas deben ser las series de datos, debido a que el número de años necesarios para captar las características de variabilidad y cambio pueden variar según el elemento climático. En general, se considera que se necesitan por lo menos 10 años de observaciones diarias para elaborar los parámetros

estadísticos de referencia pertinentes para la mayoría de los elementos, y al menos 30 años para la precipitación. Sin embargo, las tendencias climáticas observadas, a nivel mundial y regional, en muchas zonas del mundo durante el último siglo, indican que unos períodos de registro tan cortos tal vez no sean representativos de futuros períodos (OMM, 2011).

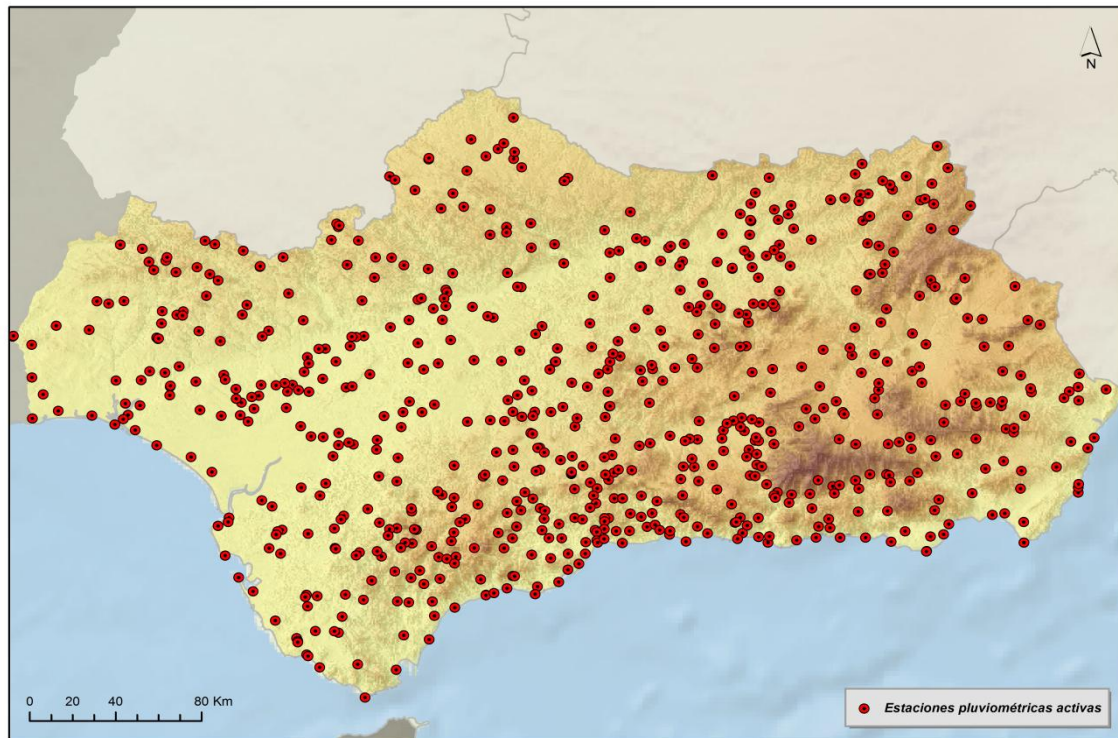
Las palabras de Trewin refuerzan esta apreciación: “desde hace mucho tiempo las normales climatológicas han tenido dos fines principales. En primer lugar, constituyen una referencia con la que se pueden evaluar las condiciones (en particular las condiciones actuales o recientes) y en segundo lugar se utilizan extensivamente (de forma implícita o explícita) para fines de predicción, como indicador de las condiciones que es probable que se experimenten en un determinado lugar (...) y se espera un mayor calentamiento como resultado de las concentraciones crecientes de gases de efecto invernadero debidos a la actividad humana. Aunque los cambios en otros elementos no han tenido lugar de una forma tan evidente como para la temperatura, no se puede descartar la posibilidad de cambios seculares a largo plazo para esos elementos. La importancia de estas tendencias seculares radica en que, en un determinado lugar, reducen la representatividad de los datos históricos como indicadores del clima actual, y probablemente del futuro. (...)”

Independientemente del periodo elegido para el cálculo de las normales climatológicas, es probable que existan muchas estaciones que dispongan de datos, aunque no en cantidad suficiente para satisfacer los requisitos establecidos sobre la cantidad mínima necesaria para el cálculo de una normal climatológica. (...) Aunque los datos de corta duración, por sí mismos, pueden ser útiles para algunas aplicaciones, en muchos casos es preferible disponer de datos que sean comparables con las normales climatológicas estándar. Por ejemplo, al cartografiar variables climatológicas, es importante que todas las observaciones cartografiadas lo sean con respecto a un periodo normalizado”(Trewin, 2007).

Para evaluar la red activa de precipitación de la AEMET en Andalucía, vamos a analizar el estado de las series de precipitación, tomando como criterio aquellas cuyo año de finalización es mayor o igual que 2010. Recordemos que nuestro banco de datos finaliza en 2012, momento hasta el que hemos podido tener la información actualizada. Hemos rebajado esta fecha en dos años, suponiendo que las estaciones pueden detener sus registros temporalmente pero recuperar las mediciones, o que algunos observatorios no hayan actualizado sus registros en el banco de datos central, circunstancia que no parece muy real. No obstante, hemos querido ser positivos al identificar aquellas estaciones que continúan registrando información y que suponemos serán, por el momento, las que representen el banco de datos actual de precipitación de Andalucía (Figura 5.9).



**Figura 5.9. Estaciones pluviométricas activas en Andalucía (hasta 2012).**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET.

En la figura superior podemos apreciar cómo Andalucía presenta una buena distribución y densidad de estaciones pluviométricas, a pesar de la disminución progresiva que ha venido experimentando desde finales de los años 70. El total de observatorios es de 745 pero hay que precisar que de éstos 220 finalizan en 2010 o 2011, lo que hace pensar que pueden haber cesado, por lo que estaríamos hablando de 525 estaciones.

Llama la atención cómo la vertiente mediterránea parece mantener una mayor densidad que el valle del Guadalquivir, cuando se sitúan en esta cuenca los grandes regadíos y zonas agrícolas que tradicionalmente han tenido un mayor interés en la información meteorológica.

No obstante, partiremos de 745 observatorios para nuestro análisis de la calidad en función de los dos criterios antes mencionados: el número de lagunas de las series y la extensión temporal de las mismas. Hemos empleado el programa *ProClimDB* (Štěpánek, 2008) obtener la información descriptiva necesaria .



### 9.3.1. Estado actual el número de lagunas de las series pluviométricas

A partir del banco de datos de la AEMET, sólo para las estaciones activas, y mediante *ProclimDB* hemos obtenido el número de lagunas para cada una de las series y su porcentaje, en función del número de años de éstas.

En los estudios climáticos se suele utilizar como criterio para la selección de series que no presenten más de un 10 % de lagunas. En la siguiente figura, hemos clasificado en intervalos y tomado este valor como referencia, para establecer cuatro clases:

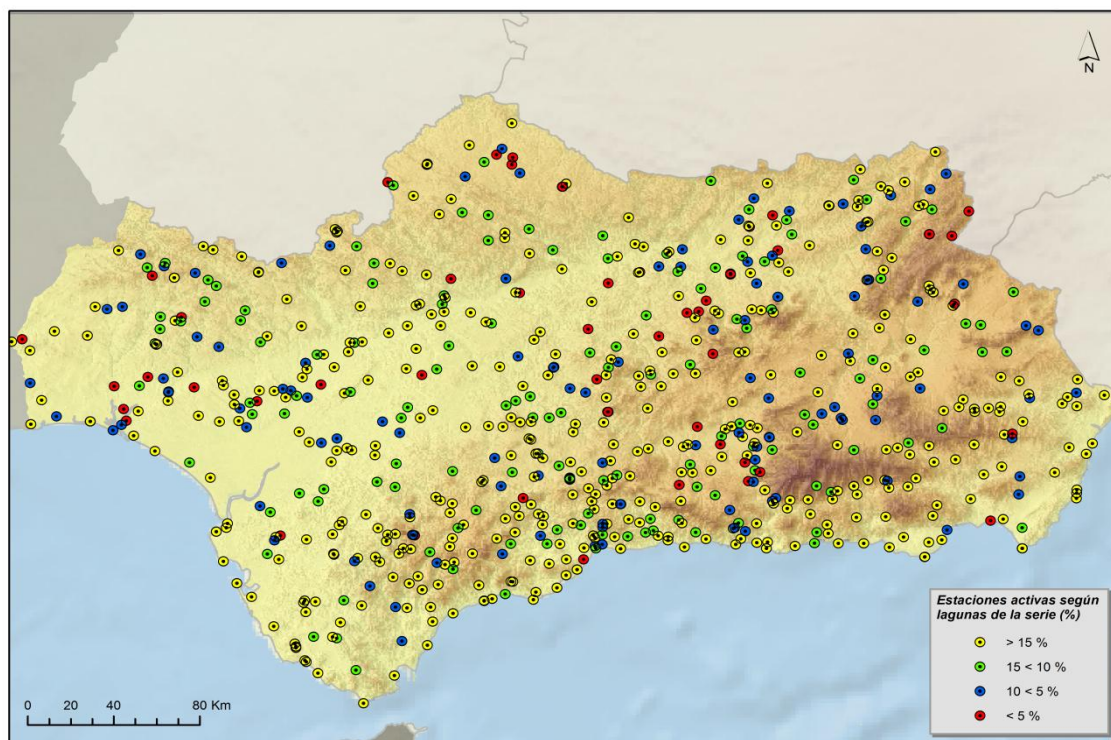
- **Series con más de un 15% de lagunas** (amarillas)  
Son las series de peor calidad y prácticamente inservibles a efectos de su uso inmediato.
- **Series entre un 15 y un 10% de lagunas** (azules)  
Son las que aún siendo de baja calidad, podrían ser *rescatables* si por su ubicación o emplazamiento tuvieran un valor especial, al cubrir zonas en las que no hubiese estaciones cercanas de más calidad. No obstante, requerirían un proceso de interpolación o reconstrucción dependiente de la propia correlación con los puntos de observación próximos.
- **Series entre un 10 y un 5% de lagunas** (verdes)  
Tienen una calidad suficiente como para que sus datos sean utilizados, sin un esfuerzo *excesivo* de interpolación de lagunas, aunque también depende de la disponibilidad de estaciones cercanas de calidad y que estén correlacionadas.
- **Series con menos de un 5% de lagunas** (rojas)  
Constituyen las mejores series disponibles de la región.

Como podemos apreciar en la siguiente figura, el número de estaciones de mala o muy mala calidad es elevado. En la Tabla 3.9 figura el número de estaciones por intervalo; llama la atención que si sumamos las peores clases, obtenemos un total de 564 estaciones de las que tan sólo 181 tienen una calidad buena o muy buena. Sin tener en cuenta el número activo en la actualidad, esta cifra podría ser menor pues reduce el inmenso banco de datos existente en Andalucía, cercano a 2000 observatorios pluviométricos, a unos 150, un 7,5% del total histórico *teórico* del que hablábamos (Figura 6.9)

**Tabla 3.9. Número de estaciones pluviométricas activas según el porcentaje de lagunas.**

Porcentaje de lagunas	Nº de estaciones
>15	416
15 < 10	148
10 < 5	121
< 5	60
<b>Total</b>	<b>745</b>

Figura 6.9. Clasificación de las estaciones activas según el porcentaje de lagunas.



Fuente: Elaboración propia a partir del banco de datos de la AEMET

Si nos atenemos a las 181 estaciones que representan con calidad suficiente el comportamiento de la precipitación, podemos afirmar que esta *subred* pueda ser representativa, es decir, capaz de captar la variabilidad natural de la precipitación en un región tan compleja como Andalucía.

### 9.3.2. Estado actual según la longitud

El segundo criterio que podemos emplear para valorar la calidad de las series de precipitación que proporciona una red de observación es la extensión temporal de sus registros. Las exigencias de la OMM sobre las normales climatológicas se están *relajando*, en base a investigaciones rigurosas del concepto de normal operacional ya que, como comenta Trewin “aunque un periodo fijo de 30 años como periodo de referencia, puede resultar adecuado cuando se utilizan las normales para fines de predicción, los resultados descritos sugieren que periodos de promediación más cortos (10 años o más para la mayoría de los parámetros) pueden tener un comportamiento igual de bueno que los periodos de 30 años permitiendo, además, que se calculen las normales para una gama mucho más amplia de estaciones de la que es normalmente posible para el periodo de referencia internacional de 1961-1990”(Trewin, 2007).

No obstante, este mismo autor remarcaba que “aunque los datos de corta duración por sí mismos pueden ser útiles para algunas aplicaciones, en muchos casos es

preferible disponer de datos que sean comparables con las normales climatológicas estándar”. Por esta razón hemos establecido al igual que en el caso anterior cuatro intervalos:

- **Series con menos de 10 años**

Para la mayoría de estudios de caracterización climática no podrían emplearse ya que serían estaciones *nuevas* o automáticas que se instalan para sustituir a observatorios manuales; por lo tanto, son series que continúan los registros para ese emplazamiento, si existe un periodo de solape que permita el ajuste y homogenización de ambas.

- **Series de 10 a 20 años**

Comienzan a tener una longitud que permite un empleo mayor de sus datos, aunque sigue siendo un periodo insuficiente para el caso de la precipitación.

- **Series de 20 a 30 años**

Posiblemente, en otros climas esta extensión temporal sería adecuada para una buena caracterización climática de las precipitaciones; aunque para los climas de tipo mediterráneos es insuficiente, permite realizar determinados estudios climáticos con un nivel de confianza aceptable.

- **Series con más de 30 años**

Entre las se encuentran las denominadas históricas, son las mejores y constituyen el patrimonio más valioso para los estudios de tendencias, el análisis de la variabilidad climática temporal o los trabajos de climatología histórica.

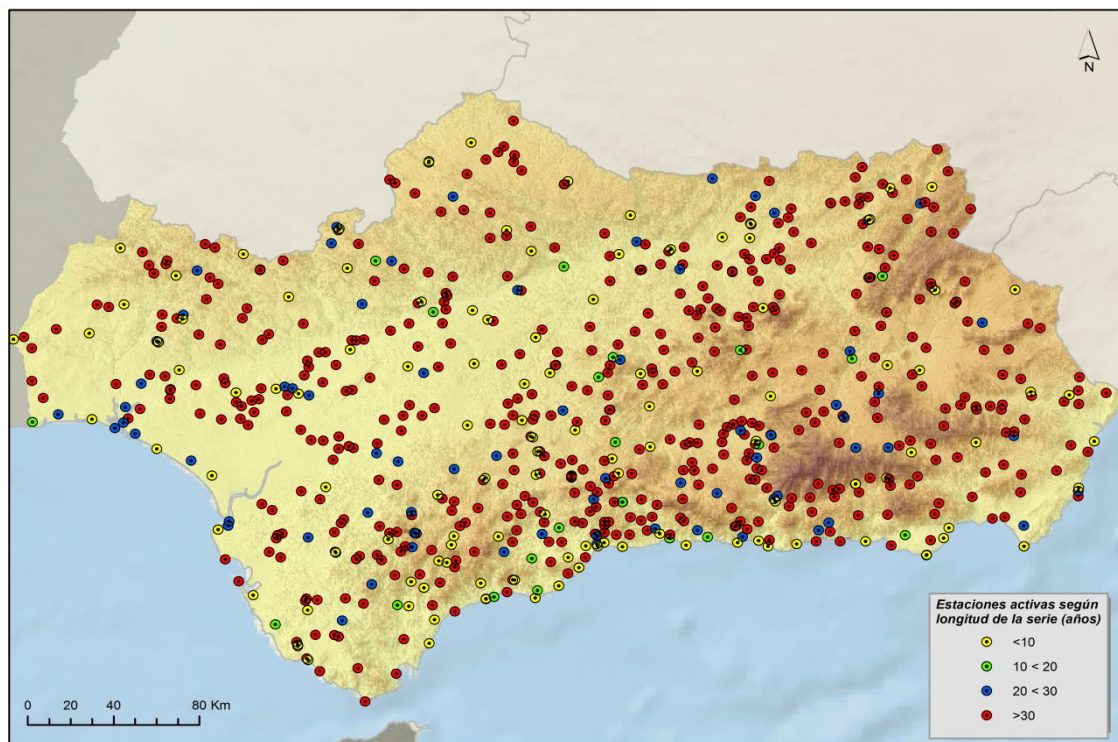
En la tabla siguiente (Tabla 4.9.), se representan las estaciones activas en Andalucía, en donde encontramos un alto número con más de 30 años de registro, según la extensión temporal de sus series. En este sentido, podríamos afirmar que *el estado* de la red es bueno y representativo, al menos en cuanto a la capacidad de captar la variabilidad temporal de la precipitación. En general, parece que tienen una distribución bastante aceptable en todo el territorio, sin que existan grandes ámbitos por cubrir a excepción de los que, en la actualidad, no disponen de estaciones de medición.

**Tabla 4.9. Número de estaciones pluviométricas activas según la longitud de las series**

Longitud (años)	Nº de estaciones
< 10	120
10 < 20	26
20 < 30	85
> 30	514
<b>Total</b>	<b>745</b>

Como podemos observar, el número de estaciones con más de 30 años constituye la mayoría, lo que unido a la buena distribución espacial pone de manifiesto el valioso patrimonio de series largas o históricas que posee Andalucía (Figura 7.9).

**Figura 7.9. Clasificación de las estaciones según la longitud de sus series.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET.

Por último, y para completar este análisis, uniremos ambos criterios a fin de obtener una visión más real del estado de las series y de la red, ya que por separado no permiten hacer una valoración con suficiente precisión.

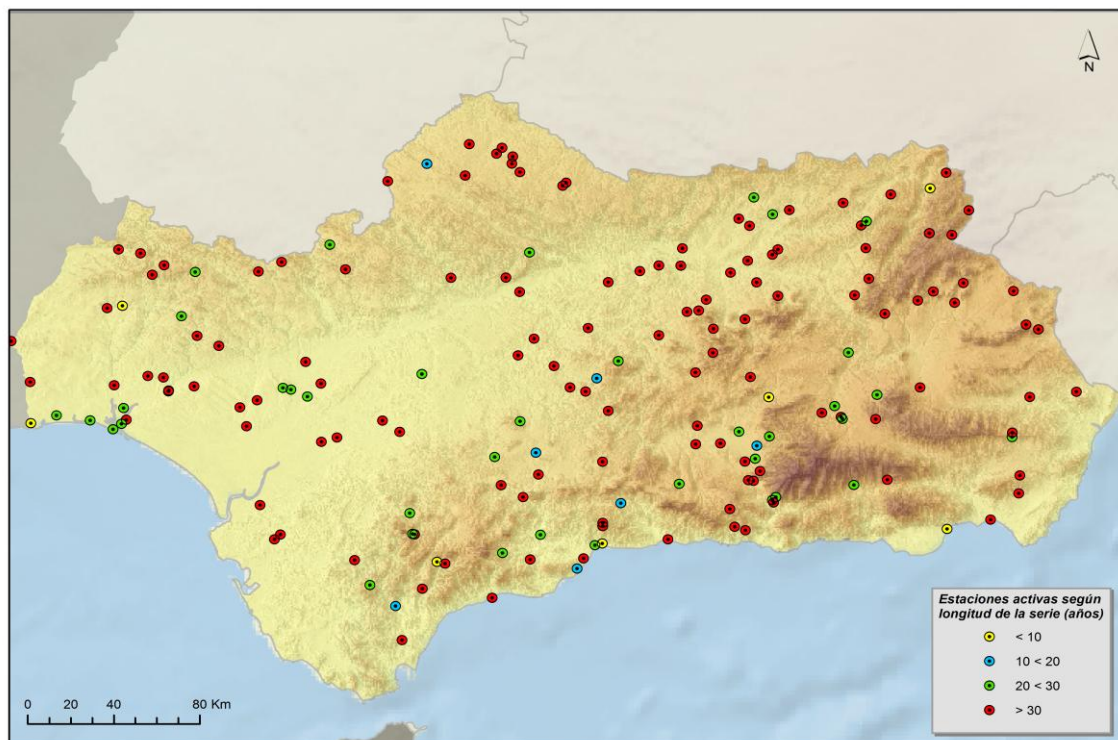
### 9.3.3. Estado actual según el número de lagunas y la longitud

Para concluir el análisis de la calidad de las series que proporciona la red de observación pluviométrica, uniremos ambos criterios. Puesto que el máximo porcentaje de lagunas aceptable para poder trabajar con series climáticas es de un 10%, hemos seleccionado todas aquellas cuyo porcentaje fuese igual o inferior a este valor y, posteriormente, las hemos clasificado con los mismos intervalos temporales de longitud anteriores. El resultado obtenido ha sido el que se recoge en la siguiente tabla (Tabla 5.9) y figura (Figura 8.9).

**Tabla 5.9. Número de estaciones pluviométricas activas según el número y la longitud de las series de precipitación.**

Longitud (años)	Nº de estaciones
< 10	7
10 < 20	7
20 < 30	37
> 30	130
<b>Total</b>	<b>181</b>

**Figura 8.9. Clasificación de las estaciones actuales según su calidad\*.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET. \*Nota: con menos de un 10% de lagunas según la longitud de sus series de precipitación.

Las 181 estaciones activas que aparecen en el apartado anterior, constituyen las de mejor calidad por su escaso número de lagunas, de las que a 130 podemos calificar

como muy buenas; sin embargo, el mapa deja importantes zonas sin cubrir con estaciones.

Cualquier conocedor del clima de Andalucía y de su red de observación echará en falta en este mapa la presencia de observatorios históricos como el de San Fernando en Cádiz (5972), cuya serie continúa en la actualidad (5972X). Esto se debe a que las estaciones manuales han dejado de funcionar, siendo sustituidas por otras automáticas que, en muchos casos, pueden no presentar registros suficientes como para estar representadas. Hemos seleccionado, para ejemplificar este caso el grupo histórico con más de 100 años de registros para analizar en detalle su situación y que pueda explicar las notables ausencias que se presentan en la siguiente tabla XX.

Al mismo tiempo, hemos buscado todas las estaciones en cuyo código aparece además del identificador numérico, una *letra* que suele indicar la estación automática que reemplaza a las antiguas manuales, muchas de ellas bajo la denominación de EMA que llegan hasta la actualidad (año de fin mayor que 2010). De las 192 que aparecen 72 de ellas tienen menos de un 10 % de lagunas, lo cual confirma otra característica preocupante de la red de medición actual: el elevadísimo número de lagunas que presentan las estaciones automáticas interrumpiendo la continuidad de un elevado número de estaciones manuales con largas series de registros, lo que las hace inservibles.

Para comprobar que esta pérdida de información era *real* y no se trataba de un error en nuestra base de datos visitamos e hicimos las pertinentes consultas en el Centro Territorial de Andalucía Occidental de la AEMET. Las consecuencias de esta pérdida de información son *terribles*, citaremos como ejemplo cercano, un excelente trabajo fin de grado sobre el análisis de extremos de precipitación y temperatura en Andalucía que sólo pudo utilizar dos de los cuatro observatorios iniciales seleccionados, Sevilla y Granada, teniendo que descartar Córdoba y Málaga por su falta de calidad. El periodo de estudio sólo pudo abarcar hasta 2001 ya que, incluso en estaciones tan importantes como éstas, no existían datos diarios con suficiente continuidad como para poder realizar los análisis (Luna Huerta, 2015).

En la siguiente tabla aparecen las estaciones con más de 100 años de registros y el porcentaje de lagunas que presentan. Hemos marcado en negrita aquellas en las que existe la estación automática que continúa los registros, en gris se resaltan las que han cesado. Esta es la razón por la que muchas de ellas no se incluyen en el mapa, pues detienen sus mediciones manuales antes de 2010 y por lo tanto, en un análisis general, no se detectan como *activas*.

Por las marcadas en **negrita** observamos que un gran número de ellas, en *cursiva*, presentan un porcentaje de lagunas elevadísimo, lo que en la práctica supone que esta serie histórica rompe su continuidad temporal. La pérdida de estos *tesoros* es irreparable y habría que tomar medidas inmediatas para no perder este *patrimonio histórico*, alertando de su desaparición y haciendo inversiones para detener su deterioro o pérdida y también para llevar a cabo su recuperación.

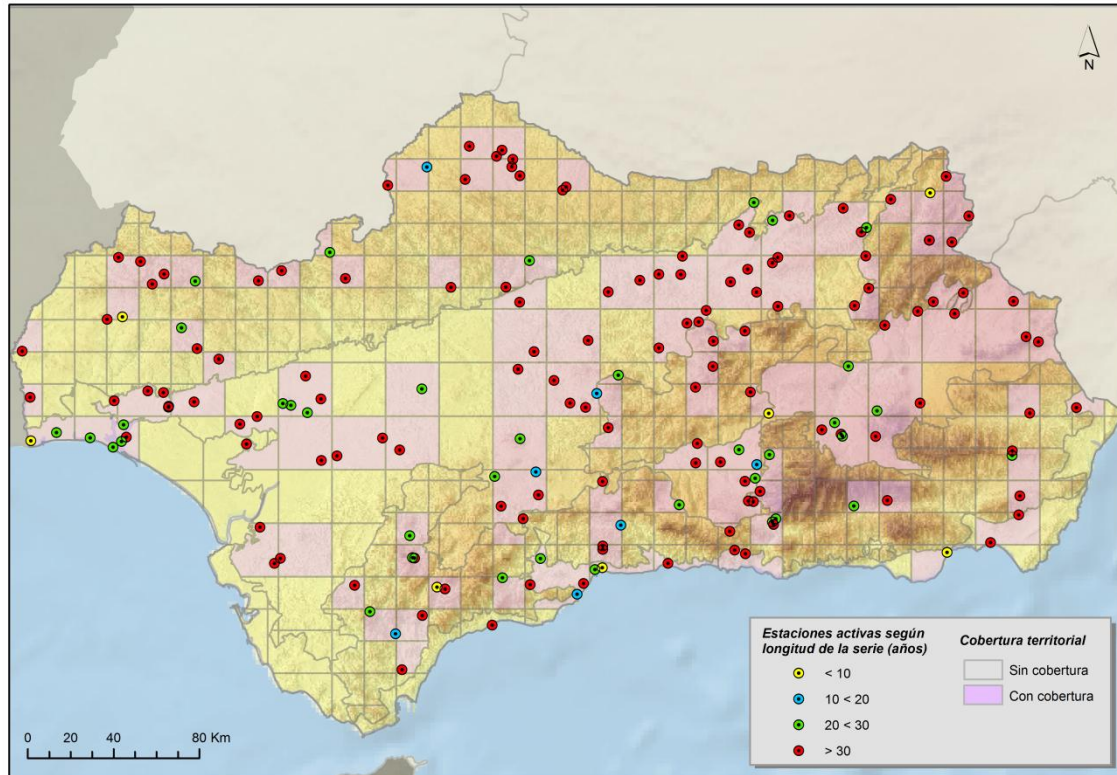
**TABLA 6.9. Estaciones con más de 100 años de datos.**

Código	Año inicio	Año fin	Longitud	Lagunas (%)
5949	1910	2010	101	7,8
5911	1912	2012	101	2,0
5960	1912	2012	101	0,7
5012	1911	2012	102	40,0
5514	1911	2012	102	40,0
5950	1909	2010	102	11,1
5089	1911	2012	102	2,3
<b>5281</b>	<b>1907</b>	<b>2009</b>	<b>103</b>	<b>14,7</b>
<b>5281X</b>	<b>2009</b>	<b>2012</b>	<b>4</b>	<b>29,2</b>
5615B	1908	2012	105	12,2
5050	1905	2010	106	39,8
5372	1902	2012	111	2,7
5402	1901	2012	112	4,7
<b>6171</b>	<b>1877</b>	<b>1990</b>	<b>114</b>	<b>9,2</b>
<b>6171A</b>	<b>1986</b>	<b>2012</b>	<b>27</b>	<b>9,0</b>
5156	1887	2003	117	23,9
<b>5906</b>	<b>1888</b>	<b>2004</b>	<b>117</b>	<b>19,2</b>
<b>5906X</b>	<b>2008</b>	<b>2012</b>	<b>5</b>	<b>20,0</b>
<b>5038</b>	<b>1883</b>	<b>1999</b>	<b>117</b>	<b>12,5</b>
<b>5038X</b>	<b>2005</b>	<b>2012</b>	<b>8</b>	<b>53,1</b>
<b>5270</b>	<b>1867</b>	<b>1983</b>	<b>117</b>	<b>2,6</b>
<b>5270B</b>	<b>1983</b>	<b>2012</b>	<b>30</b>	<b>17,5</b>
4568	1879	1996	118	12,0
<b>5406</b>	<b>1882</b>	<b>2009</b>	<b>128</b>	<b>32,0</b>
<b>5406X</b>	<b>2008</b>	<b>2012</b>	<b>5</b>	<b>16,7</b>
5790	1871	2004	134	0,9
<b>5515</b>	<b>1865</b>	<b>2004</b>	<b>140</b>	<b>19,3</b>
<b>5515X</b>	<b>2009</b>	<b>2012</b>	<b>4</b>	<b>25,0</b>
6001	1866	2012	147	28,1
5973	1839	2012	174	30,6
<b>5972</b>	<b>1805</b>	<b>2004</b>	<b>200</b>	<b>12,1</b>
<b>5972X</b>	<b>2004</b>	<b>2012</b>	<b>9</b>	<b>36,1</b>



Combinando las estaciones de mejor calidad en cuanto al número de lagunas (menos de un 10%), el número de años y la densidad recomendada según las unidades fisiográficas obtenemos el siguiente mapa (Figura 9.9). Esta sencilla superposición espacial de criterios nos permite una primera evaluación del estado de la red actual de medición pluviométrica de Andalucía.

**Figura 9.9. Clasificación de las estaciones según los tres criterios de representatividad\***



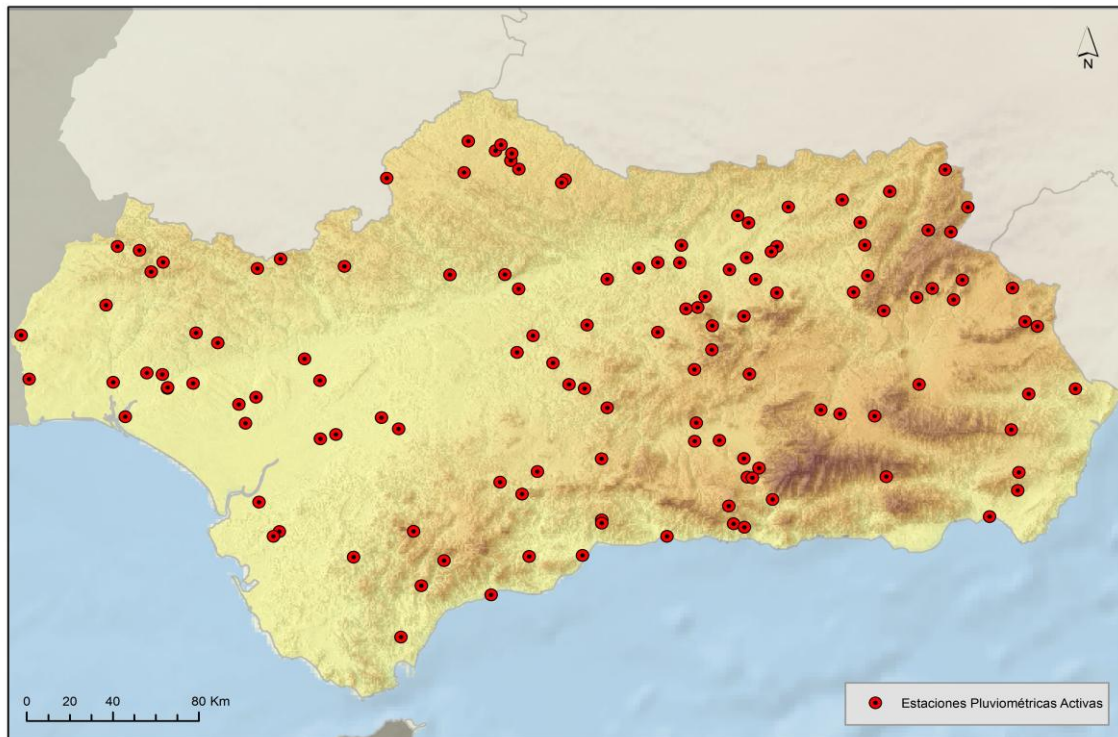
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET. \*Nota: Con menos de un 10 % de lagunas clasificadas por longitud de las series y criterios de densidad de la OMM según unidades fisiográficas.

Este conjunto de estaciones constituirían la red básica *aprovechable* a partir de la cual habría que trabajar para conseguir ir cubriendo todas las zonas sin cobertura, sin representación espacial según los criterios de densidad de la OMM. Podemos apreciar que una extensa proporción del territorio se encuentra sin cubrir, aspecto especialmente grave en las zonas de montaña que requerirían una densidad de estaciones mucho mayor.

Por otro lado observamos importantes redundancias que, en el caso de estaciones con pocos años, si no son las sustitutas de observatorios manuales, podrían ser cesadas en pro de destinar los recursos a aquellas verdaderamente representativas y que cubren zonas de mayor variabilidad.

Si unimos las estaciones que reúnen los mejores indicadores de calidad en cuanto al número de lagunas, y su extensión, obtenemos un total de 130 que representamos en la siguiente figura (Figura 10.9).

**Figura 10.9: Clasificación de las mejores estaciones actuales.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET. \* Nota: Con menos de un 10% de lagunas y 30 o más años de registros.

A partir de la representación de la red óptima, según los criterios de calidad de las series, podemos destacar varios hechos:

- Existen importantes desigualdades en la distribución de las estaciones quedando algunas zonas prácticamente desprovistas de *las buenas* (véase por ejemplo toda la zona del campo de Gibraltar, medio Guadalquivir o los límites de Sierra Morena con Ciudad Real y Albacete).
- Se pueden apreciar claras redundancias en muchos puntos, con observatorios que casi se solapan en su representación (caso de Jerez de la Frontera o la concentración de estaciones en los Pedroches al norte de la provincia de Córdoba).
- Algunas zonas de montaña, generalmente peor dotadas de estaciones, tienen una *buen*a cobertura espacial como es el caso de la Sierra de Cazorla y Segura.

El panorama mejoraría si completáramos esta selección con las que tienen estaciones automáticas que dan continuidad a las series en el tiempo.

Tras el proceso de evaluación de la calidad de las series, la representatividad espacio-temporal de la red de medición pluviométrica queda muy matizada. Daremos un paso más en este análisis, uniendo tres criterios para la evaluación de la red activa: los dos anteriores, la representatividad de la OMM y la calidad de las series, con nuestra propuesta de regionalización pluviométrica lo que nos permitirá tener una visión mucho más completa de la representatividad y del estado actual de la red de medición pluviométrica actual.

#### 9.4. Regionalización, representatividad y estado actual de la red pluviométrica

Las regionalizaciones realizadas han definido zonas de variabilidad pluviométrica homogéneas, por lo que podemos considerar para las dos escalas que hemos propuesto, una más general en cinco zonas, y otra a mayor escala en nueve regiones, que cada una podría estar representada por al menos una estación, a efectos de caracterización y seguimiento de la variabilidad pluviométrica de cada una de ellas. Por tanto, la red de medición básica podría ser representativa, si cada zona tuviese como mínimo una estación.

Las clasificaciones han sido ampliamente utilizadas para explorar la estructura de los conjuntos de datos climáticos (Jolliffe y Philipp, 2010) pero han sido escasamente empleadas para garantizar la representatividad de las redes de medición climáticas. Perdinan y Winkler afirman que los procedimientos de regionalización que intentan captar la variabilidad del clima, en raras ocasiones se han utilizado con estos propósitos, y que pueden ser útiles para llevar a cabo evaluaciones de cambio climático, sobre todo de cara a la selección del número y ubicación de las estaciones representativas. Por lo tanto, en muchos estudios de evaluación y desarrollo de escenarios puede no ser factible incorporar un gran número de puntos de medición de una región, por lo que hay que seleccionar un subconjunto más pequeño de ubicaciones que representen mejor la variación espacial del clima, a través de la región (Perdinan y Winkler, 2015).

Los mismos autores recogen que en estudios precedentes, la evaluación de la red de medición se llevaba a cabo bien examinando la longitud de las serie temporales históricas, o mediante una valoración basada en la representatividad *percibida* de las estaciones climáticas, dentro de una región. Una de las cuestiones que se plantean cuando se utiliza el primer criterio de selección, es que las estaciones con los registros más largos no puedan captar, adecuadamente, la variabilidad espacial del clima para el área de estudio. La segunda opción requiere justificar tanto el tamaño de la subregión para la que una estación es representativa, como las características utilizadas para evaluar la representatividad. Por esta razón, los citados autores indican que las técnicas de regionalización son de utilidad para seleccionar el número y la ubicación de

las estaciones representativas y que, además, se puede emplear para evaluar el cambio climático.

Así pues, aplicar nuestras propuestas de regionalización a la evaluación de la representatividad de la red y de sus estaciones, es un procedimiento que ha sido avalado por investigaciones de gran solvencia en este ámbito.

Hemos combinado las regionalizaciones con los criterios de densidad pluviométrica recomendada por la OMM, lo que dividiría cada zona en subámbitos en los que la densidad de estaciones recomendable variaría según la fisiografía. Esto implica que algunas zonas no podrían estar representadas únicamente por una estación ya que engloban ámbitos geográficos diferentes. Como podemos ver en la Figura 10.9 correspondiente a la regionalización en cinco ámbitos, la zona 1 atlántica y la zona 2 que corresponden a Andalucía central, sur y costa mediterránea, cubren varios tipos fisiográficos: costa, vegas, campiñas y montañas, por lo que para el seguimiento de la variabilidad pluviométrica deberían estar representados, al menos, por tres estaciones.

Con la propuesta de regionalización de mayor detalle en nueve regiones, que aparece en la Figura 11.9 hemos procedido de igual forma. En este caso, la representatividad se complica ya que, incluso dentro de una misma zona, los ámbitos se subdividen y pueden aparecer varios de una misma tipología que requeriría una estación que los representara, por el hecho de estar separados físicamente. Por ejemplo, la zona 5 correspondiente al *interior* de Andalucía que se extiende desde los límites con Castilla-La Mancha hasta Sierra Nevada, engloba como mínimo tres ámbitos de montaña, que podrían llegar hasta cinco o seis, y dos correspondientes a valles y campiñas, la Vega de Granada y la comarca de Las Lomas. Así pues, sólo esta región necesitaría como mínimo de 5 a 7 pluviómetros para estar representada.

Las siguientes Figuras 10.9 y 11.9 se representan todas las características que nos permiten obtener una visión general de la representatividad de la red pluviométrica activa, para las estaciones de mejor calidad.

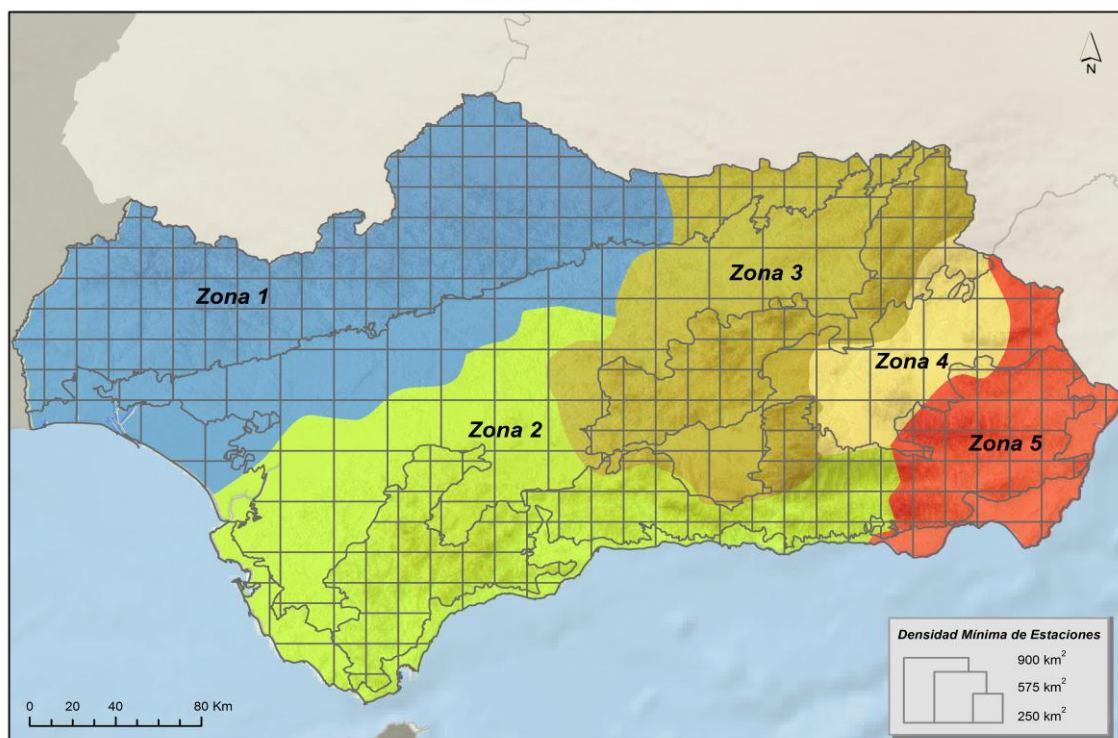
Llegados a este punto, nuestra propuesta puede servir, entre otras aplicaciones, como base para alcanzar dos objetivos diferentes:

- **Definir una Red Básica de Referencia (RBR)**, lo que suele conocerse como *Reference Climate Stations*, con lo que se daría respuesta a las recomendaciones de la OMM cuando sugiere que “cada Miembro deberá establecer y mantener en funcionamiento, por lo menos, una estación climatológica de referencia para determinar las tendencias climáticas. Dichas estaciones deberán proporcionar registros homogéneos efectuados durante más de 30 años y estar situadas en emplazamientos en los que los cambios medioambientales de origen antropogénico hayan sido mínimos o se prevé que sigan siéndolo”(OMM, 2011).

“Lo ideal sería que los registros tuvieran una longitud suficiente para permitir la identificación de los cambios en el clima a una escala temporal secular (OMM, 1986). Estas estaciones tienen requisitos muy similares a los de la red Global de Observación en Superficie (*GCOS Surface Network (GSN)*), pero las redes nacionales deberán ser más densas a fin de asegurar que se cumplan las necesidades específicas de datos de cada país, a largo plazo, relacionadas con el cambio climático, incluidos los datos para la evaluación de los impactos y la adaptación”(WMO, 2003).

- **Garantizar una Red de Referencia Regional (RRR)** más densa y que cumpla con las necesidades antes mencionadas. La selección de estaciones para Andalucía que hemos propuesto y que hemos denominado: *mapa potencial de densidad óptima de estaciones pluviométricas en Andalucía según la OMM* tendría que incluir otros criterios de selección como los que proporciona la Red nacional de Referencia de Estados Unidos (*U.S. Climate Reference Network (USCRN)*) desarrollado por la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* y que pueden ser consultados en la web (<https://www.ncdc.noaa.gov/crn/sites.html>).

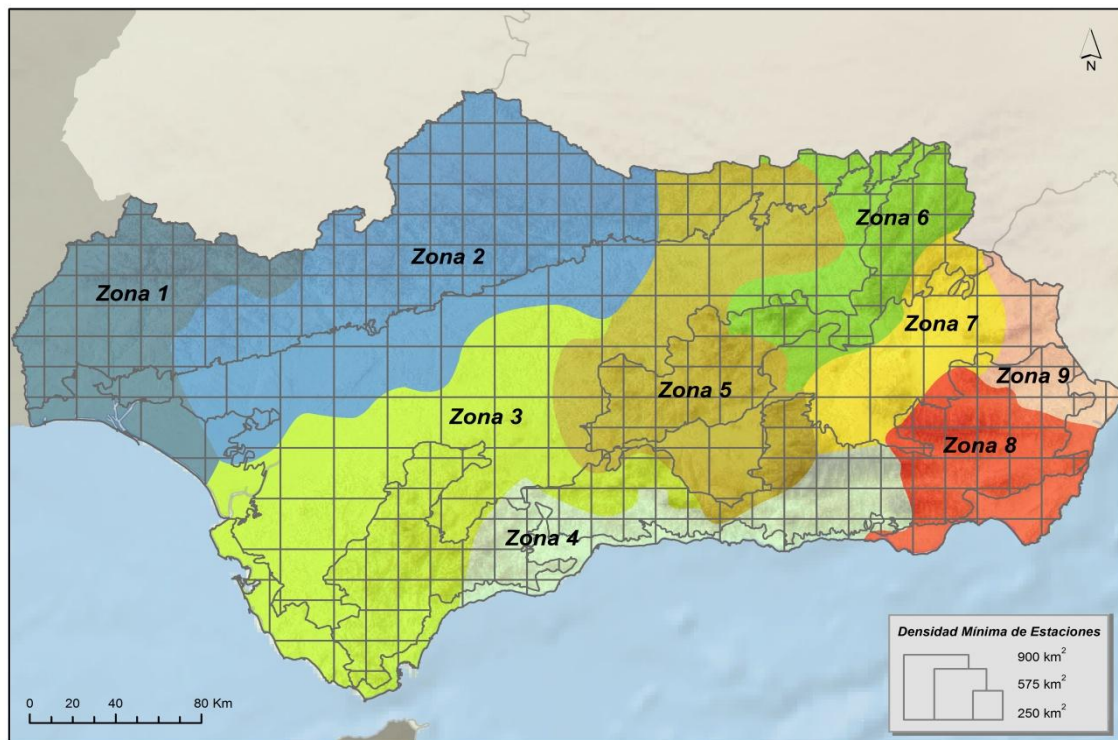
Figura 10.9. Regionalización pluviométrica en cinco regiones y densidad de la OMM.



Fuente: Elaboración propia.



Figura 11.9. Regionalización pluviométrica en nueve regiones y densidad de la OMM.



Fuente: Elaboración propia.

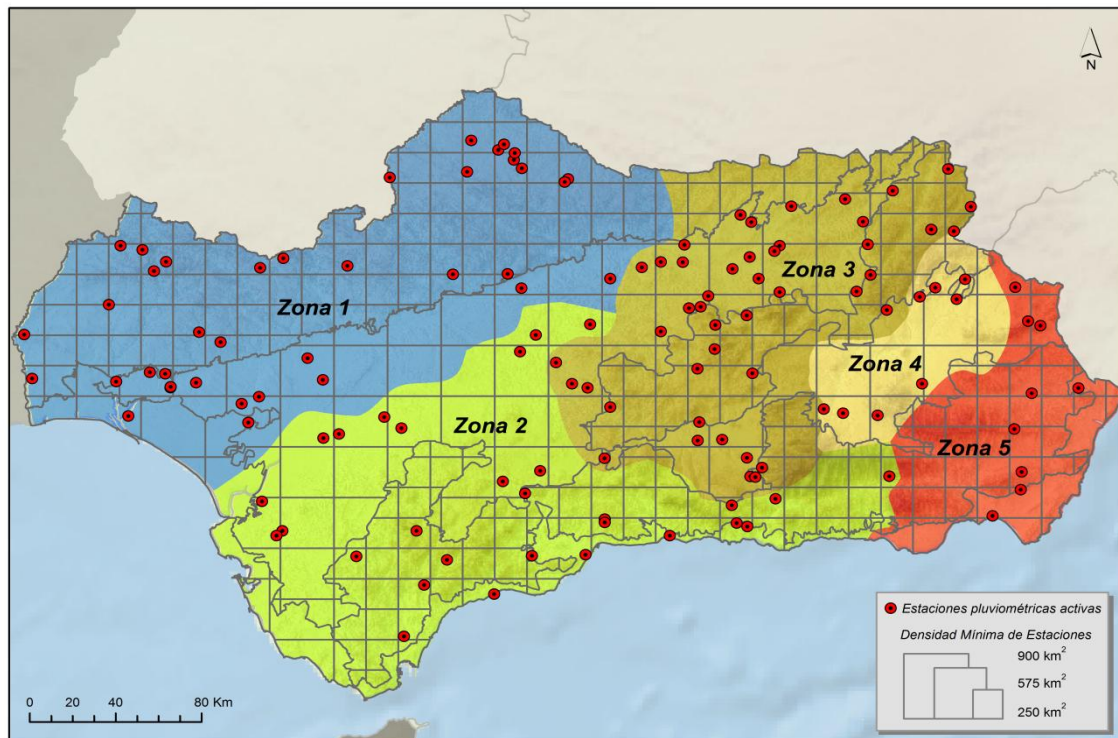
Según el tratamiento que se hiciera de los dos objetivos antes propuestos, podríamos obtener una valoración diferente. En el caso de que la intención fuese proporcionar orientaciones para la constitución de una **Red Básica de Referencia** podríamos concluir, tanto para la regionalización en 5 zonas como para la de 9, que la mayoría dispone de estaciones pluviométricas representativas y en los subámbitos fisiográficos que se distinguen en cada una de ellas. Las siguientes zonas no están cubiertas como debieran:

- **Zona 3 interior de Andalucía**, en la que quedaría sin cubrir todo el área de Sierra Morena limítrofe con Castilla-La Mancha y el ámbito de las mayores altitudes de Sierra Nevada.
- **Zona 2, sur de Andalucía** faltaría alguna estación en la franja costera aunque la estación de San Fernando (5972 y 5972X) debidamente enlazada, cubrirían este espacio. También se incluye el límite más oriental de esta zona, tanto en la vertiente sur de Sierra Nevada como en la Sierra de la Contraviesa, que cuenta con sólo un observatorio.
- **Zona 4, en la zona subdesértica interior oriental** no estaría representada en el área más montañosa del noreste desde la Sierra de Castril y Sierra Seca hasta Murcia.
- **Zona 5, en el sudeste subdesértico** queda fragmentado por los relieves y la franja costera compartimentada; si consideramos que estos ámbitos pueden

diferenciarse por esta compartimentación, sería necesario incorporar algunas estaciones.

Las siguientes figuras (12.9 y 13.9) representan para las estaciones de mejor calidad todas las características que estamos considerando y que nos permiten obtener una visión general de la representatividad de la red pluviométrica activa.

Figura 12.9. Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 5 zonas\*.

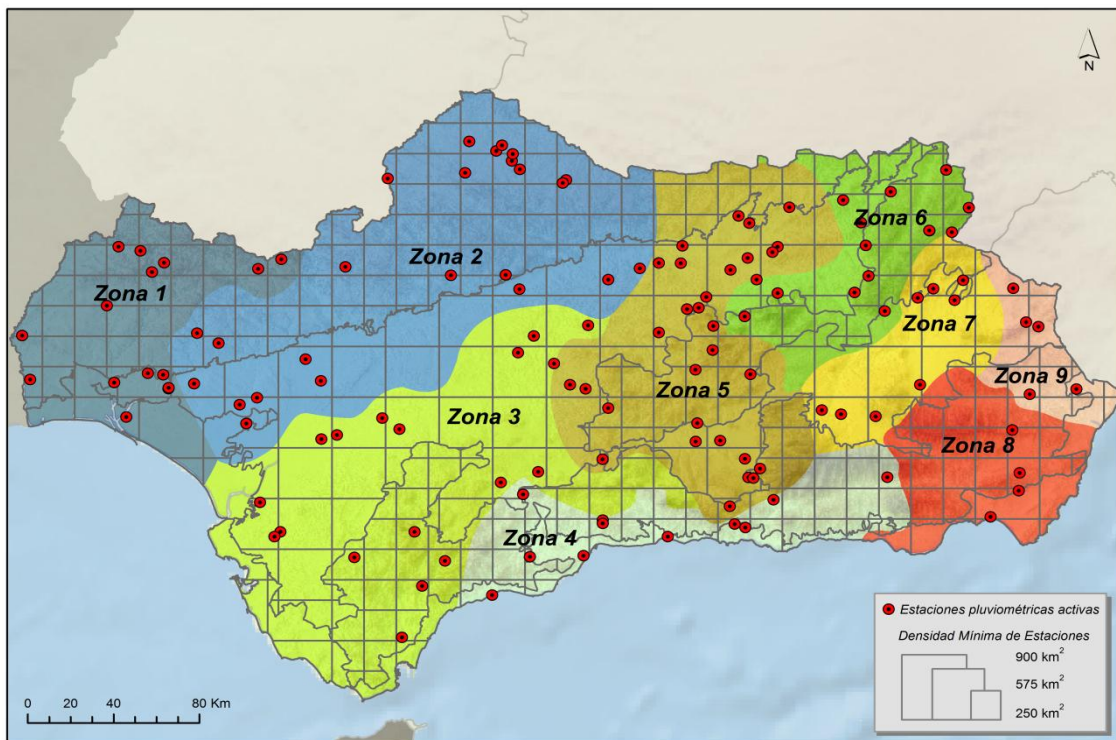


Fuente Elaboración propia. \* Nota: según los criterios de densidad de la OMM por unidades fisiográficas.

Si nuestro objetivo fuese encaminarnos hacia la evaluación de una **Red de Referencia Regional (RRR)**, necesitaríamos aumentar la densidad de estaciones para *cumplir* las recomendaciones de la OMM ya que la región queda muy descubierta en ámbitos extensos, como muestra la siguiente Figura 13.9 en la que ninguna celdilla contiene estaciones.

Para ambos fines la unión de los dos criterios anteriormente descritos, calidad y densidad óptima según la OMM, con nuestra propuesta de regionalización puede asesorar y servir de base para la definición de estas redes.

Figura 13.9. Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 9 zonas \*.



Fuente Elaboración propia. \* Nota: Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 9 zonas.

### 9.5. Hacia una optimización de la red de observación pluviométrica

Nuestra investigación plantea una aproximación inicial a cuestiones que exigirían desarrollar un proyecto específico, para llegar a situaciones que ya se han conseguido en países como Estados Unidos o Australia. Por esta razón, partimos de análisis que permiten avanzar hacia la consecución de esta meta; consideramos que trabajando en el *rescate* y reconstrucción de muchas estaciones del banco completo de la AEMET se podría iniciar un proyecto de *diseño y construcción de una Red Básica Regional de Referencia para Andalucía*.

Determinar qué estaciones son redundantes, permite a los administradores de las redes, considerar posibles opciones para optimizarlas mediante su eliminación, a fin de reducir los costes, o bien utilizar esos recursos para establecer estaciones en emplazamientos representativos o no cubiertos, lo que contribuiría a lograr más eficazmente los objetivos de la red. Los administradores de las redes podrían de esta forma, provechar la elevada coherencia espacial que existe en algunas variables meteorológicas, como la temperatura(OMM, 2011).

Conviene recordar otros requisitos, como los de la Red de Referencia Básica, que exigen la homogeneidad de las series de las estaciones que la componen con el fin de



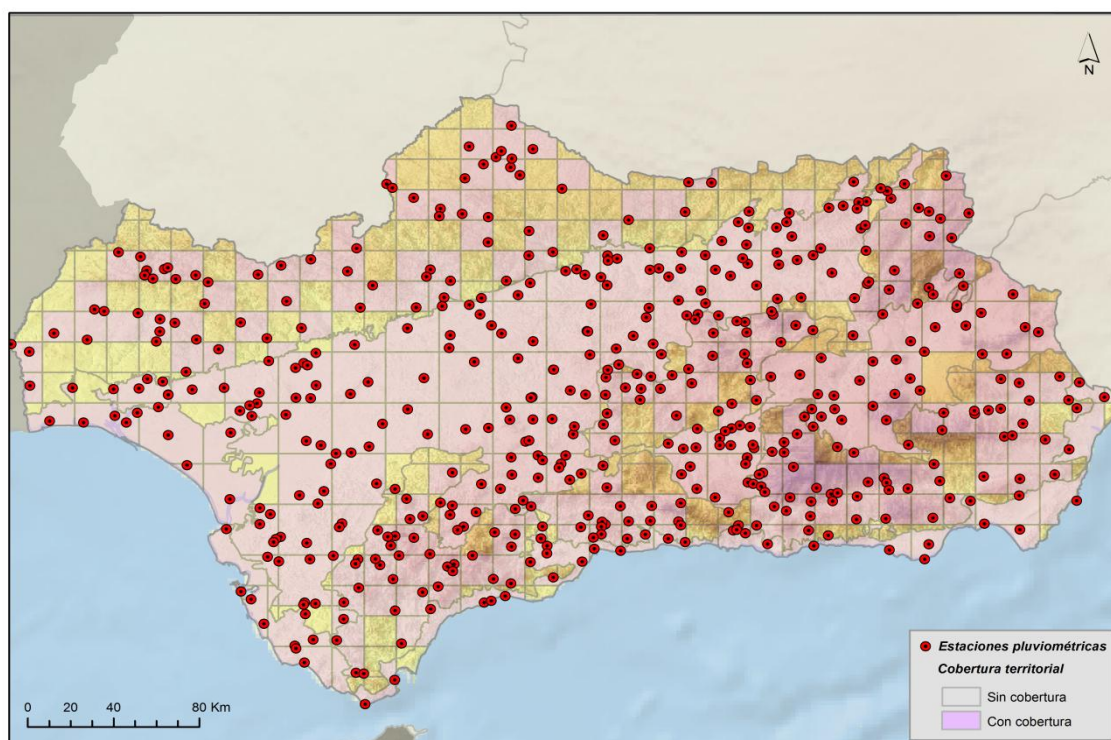
garantizar la máxima calidad. Por esta razón sería necesario llevar a cabo un proceso que abordaría tareas tales como:

- Verificar la homogeneidad de las series candidatas a formar parte de esta red.
- Identificar las series manuales que tienen continuidad, con estaciones automáticas de calidad que pudieran *unirse* mediante las técnicas adecuadas y formar parte de estas redes.
- Localizar zonas peor cubiertas espacialmente, a fin de encontrar estaciones de la propia red o de otras redes que pudiesen representar estos espacios.
- Identificar emplazamientos con redundancias a fin de priorizar las series de mayor valor, en función de los recursos.
- Descender a un nivel de detalle que permita evaluar la representatividad del emplazamiento y de las condiciones que rodean la toma de mediciones, a fin de valorar las estaciones de acuerdo con este criterio, e iniciar un banco de datos asociado a cada estación meteorológica.

De esta forma se conseguiría mejorar sustancialmente la representatividad de la red. Existen otras posibilidades y estrategias, como emplear la propia base de datos MOPREDAS para verificar qué series son homogéneas, y cuáles han sido reconstruidas y por lo tanto pueden continuar sus mediciones. Esta base de datos ha conseguido mejorar notablemente la cobertura espacial y la representatividad, de acuerdo con los criterios de la OMM, como se aprecia en la siguiente Figura 14.9 lo que apoya la representatividad espacial de los datos empleados en nuestros análisis para obtener nuestra propuesta de regionalización.

En el apartado de resultados en que describíamos otras redes actuales de medición, mencionábamos la red SAIH, que comienza a tomar mediciones en conjunto desde 1999, y la red de la actual Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (CAPDR) de la Junta de Andalucía, cuyos primeros observatorios se instalan en el año 2000. Los datos de esta última, son de excelente calidad y continuidad temporal, en su presentación específica “que cuentan con un adecuado plan de mantenimiento “in situ”, así como con una exhaustiva revisión de los registros que suministran los sensores” (<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria>). Los datos de las variables agrometeorológicas se pueden descargar en la web de dicha consejería, y su red se encuentra integrada en el subsistema CLIMA de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

**Figura 14.9. Cobertura espacial de las estaciones pluviométricas de la base de datos MOPREDAS, según los criterios de densidad de la OMM.**



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los datos de la red SAIH, gestionada por las Confederaciones Hidrográficas no están disponibles en la web, aunque pueden obtenerse mediante petición escrita. En la página web de estos sistemas se advierte explícitamente que los datos no están sometidos a ningún proceso de control de calidad. No obstante, constituye una red de gran cobertura espacial y cuyas estaciones, situadas para cubrir la red hidrográfica, suelen localizarse en zonas que históricamente no han sido de interés para la red de estaciones tradicional. A esto se suma la existencia de una tipología de estaciones muy escasa: las pluvionivales, situadas en las mayores altitudes. Por tanto, esta red aporta una información espacialmente muy valiosa para complementar la densidad y representatividad de la red de la AEMET.

Otra ventaja que hay que destacar de la red SAIH, es el hecho de que dispone de fondos para su gestión y mantenimiento, a lo que se une su incorporación a la directiva INSPIRE y la Directiva Marco de Agua (DMA) y a las directrices legislativas europeas, cuyo objetivo es crear un sistema de alerta para las inundaciones. La red SAIH ha ido sumando nuevas funciones y puede suministrar información para la obtención de los parámetros de calidad y seguimiento que exige la DMA.

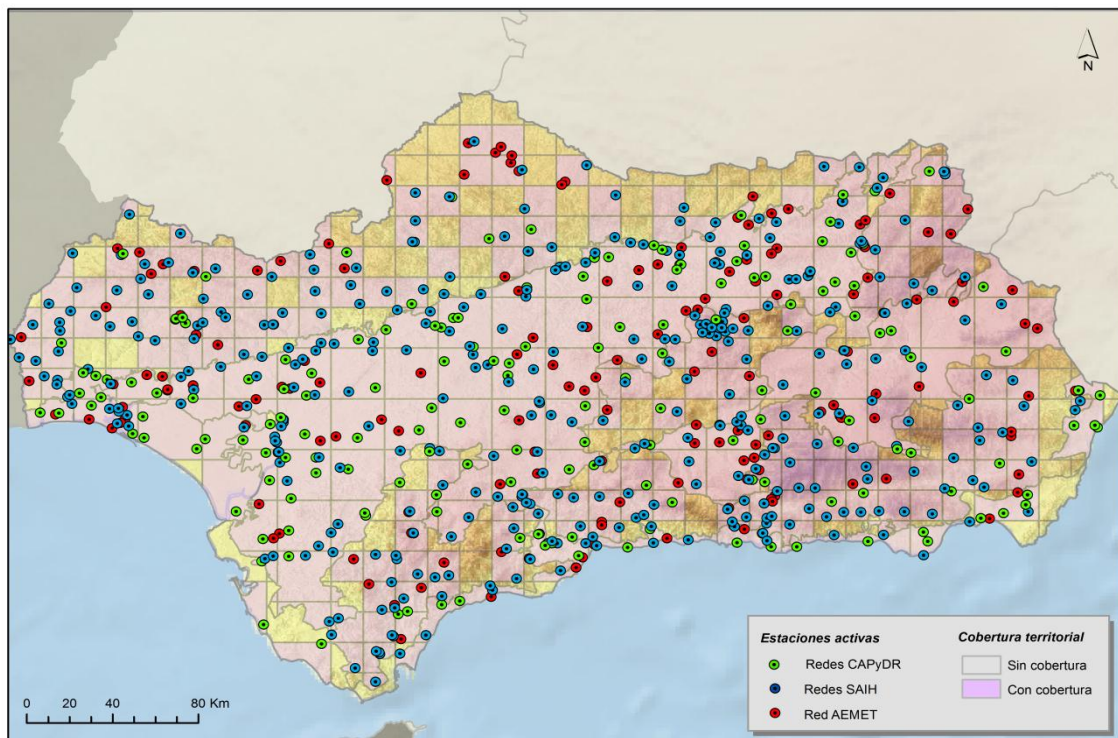
Asimismo, las estaciones agroclimáticas de la Red de Alerta de Información Fitosanitaria y Red de Información Agroclimática de Andalucía han sido financiadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, por lo que su gestión y recursos se encuentran igualmente garantizados.

Este podría ser un modelo de la importancia de seguir integrando redes para mejorar la cobertura y representatividad de las estaciones que miden la precipitación en Andalucía.

En la siguiente figura (Figura 15.9) hemos representado las estaciones de las redes, SAIH y las dos de la (CAPDR) con las mejores estaciones de la AEMET, todas ellas con menos de un 10% de lagunas y con más de 10 años en la longitud de sus series. De esta forma, unificamos el periodo mínimo común de todas ellas, ya que por término medio pueden ofrecer una longitud base, para todas las series representadas, de unos 10-15 años, desde aproximadamente el año 2000.

Sería necesario someter a un proceso inicial de control de calidad y de posibles lagunas a la red SAIH, a fin de precisar las posibilidades de integración aunque, en principio, son una fuente necesaria, en pleno funcionamiento y con grandes posibilidades en el futuro.

**Figura 15.9. Estaciones de la red SAIH, RIA, RAIF y AEMET (menos de un 10% de lagunas)**



Fuente: Organismo representados en la figura.

El resultado que ofrece la figura anterior muestra como la cobertura espacial se adecua a los criterios de la OMM y es muy buena para el conjunto de la región. Tan solo algunos ámbitos de Sierra Morena, el sudeste almeriense y la costa gaditana tienen una peor cobertura.

Tan sólo mencionar que existen más posibilidades, integrando las redes *científicas*, privadas o de empresas. Comienzan a oírse voces sobre las nuevas posibilidades que se abren en la adquisición de información climática de la Ciencia del Conocimiento

Ciudadano (*Citizen Science of Knowledge*) o como demuestra el reciente artículo publicado en el *International Journal of Climatology: "Crowdsourcing para profesionales de la climatología y ciencias atmosféricas: situación actual y potencial futuro"* en donde se explica la definición tradicional de *crowdsourcing* entendida como la obtención de datos a partir de un conjunto de personas adscritas, con lo que la información se amplía gracias a las recientes innovaciones como sensores públicos, normalmente conectados a través de Internet. Como indican los autores "en la actualidad se están obteniendo una gran cantidad de datos que van en aumento y por diferentes fuentes no tradicionales, desde sensores de teléfonos inteligentes a estaciones meteorológicas de aficionados. En algunas disciplinas, como la astrofísica o la ecología, ya se están utilizando técnicas de *crowdsourcing* ( iniciativas de ciencia ciudadana, la tecnología web 2.0, sensores de bajo coste etc.), si bien su valor dentro de las ciencias climáticas y atmosféricas, todavía no está bien explorado aunque está empezando a mostrar su potencial" (Muller *et al.*, 2015). El ejemplo de Meteoclimatic en España podría ser un buen ejemplo de estas *nuevas fuentes de información*.

Se trata de buscar la complementariedad y la coordinación con otras redes existentes, siguiendo siempre criterios de calidad y en donde lo esencial sea llevar a cabo un trabajo de recuperación y mantenimiento que consiga detener el deterioro de la red de medición pluviométrica de cara al futuro.

De esta forma, se podrían *diseñar* dos nuevas redes combinado un valioso patrimonio que, a pesar del gran avance del subsistema CLIMA, todavía puede aportar nuevas posibilidades para avanzar hacia una optimización tanto de la red de observación como de los recursos públicos dedicados a su gestión.

## 9.6. Reconocimiento de las redes de medición en el contexto de cambio climático

Durante el siglo pasado, prácticamente todos los países del mundo comprometieron importantes recursos para el establecimiento y puesta en marcha de Servicios Meteorológicos Nacionales (SNM). Sus beneficios se traducían en un aumento de la seguridad y del bienestar de la sociedad, lo que justificaba estas inversiones públicas. Sin embargo, en la actualidad, encontramos que por un lado el sector privado, industria, grupos empresariales y consumidores, muestran un mayor interés por la información meteorológica, valorando sus beneficios y costes (Freebairn y Zillman, 2002) y por otro que se ha incrementado la presión sobre los presupuestos nacionales y los gobiernos necesitan cada vez más, mostrar los beneficios y ventajas de los fondos públicos destinados a los SMN.

Por esta razón, existe una creciente necesidad de hacer una valoración económica de los servicios meteorológicos, a fin de apoyar la toma de decisiones sobre los

presupuestos que a nivel nacional se deben asignar. Aunque no hay muchos estudios sobre esta temática, poco a poco van apareciendo trabajos que tratan de desarrollar un marco general metodológico, para calcular el valor económico de los SMN fundamentados en que la mayoría de las infraestructuras nacionales poseen un valor como bienes públicos inestimable (Frei, 2010). Los beneficios reales y potenciales de estos servicios sobre las economías nacionales, empresas, sectores industriales y sobre la población, no son insuficientemente reconocidos en muchos países; sin embargo, está ampliamente asumido que los beneficios superan con creces a sus costes.

Los mismos autores argumentan que las redes y servicios pueden cuantificarse: en unidades de información de registros históricos de precipitación, viento, temperatura, en la resolución temporal o espacial de los modelos de salida, en las unidades relacionadas con la precisión de los pronósticos y las previsiones del tiempo, e igualmente por su alcance en términos de eficacia en la comunicación o adaptación a las necesidades específicas del usuario o, expresado de una forma general, como la cantidad y calidad de la información proporcionada sobre el tiempo y el clima.

El beneficio económico total de los SMN se obtiene en base al aumento del bienestar adicional en los responsables en la toma de decisiones y la mejora de la información meteorológica. Habría que reducir costes en las pérdidas de determinadas actuaciones lo que se traduciría en la obtención de ganancias que de otra manera no se habrían producido (*Op. Cit*). En este sentido, existe aún menos información sobre el coste económico adicional de las posibles mejoras o cambios en los servicios meteorológicos actuales (Lazo y Chestnut, 2002).

Hay que tener en cuenta que las redes de medición tienen hoy, además, un significado y trascendencia muy diferente al que tenían antes, como puntualiza M. Santos: “si comparamos las redes del pasado con las actuales, la gran diferencia reside en la porción de espontaneidad en su creación y diseño. Cuanto más avanza la civilización más se impone el carácter deliberado en la constitución de las redes. Con los progresos recientes de la ciencia y la tecnología, con las nuevas posibilidades de la información abierta (*Open data*), la instalación de redes supone una previsión de las funciones que podrán ejercer y ello incluye tanto su forma material como sus reglas de gestión. Se crea así lo que H. Bakis (1990, p. 18) llama un *espacio de la transacción*, cuyo contenido técnico permite comunicaciones permanentes, precisas y rápidas entre los principales actores de la escena mundial. (...) En virtud de los progresos técnicos y de las formas actuales de realización de la vida económica, las redes son cada vez más globales: redes productivas, de comercio, de transporte, de información” (Santos, 2000).

La importancia institucional de las redes de observación para el seguimiento del cambio climático se hace patente desde la aprobación el 6 de octubre de 2006 en el Consejo de Ministros del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC),

cuyo primer programa de trabajo, contemplaba “promover la consolidación de las redes de seguimiento ecológico a largo plazo e integración de los datos para detectar los efectos del cambio climático”.

El segundo programa, aprobado en junio de 2009, señala entre las líneas de trabajo para la biodiversidad la “Consolidación y ampliación de la **Red de Seguimiento del Cambio Global en los Parques Nacionales españoles (2009-12)**” (OAPN, 2010). Resultado de esta iniciativa es el programa de seguimiento de cambio global en la Red de Parques Nacionales que integra la Red de Seguimiento de Cambio Global gestionada por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN). Del conjunto de los quince Parques Nacionales de la Red, siete de ellos tienen observatorios, aunque en los nuevos proyectos de I+D+i se contempla la *Ampliación de la Red de Estaciones meteorológicas, con la incorporación de nuevos parques al proyecto* (<http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/cambio-global.aspx>).

Actualmente, el interés por las redes de seguimiento del cambio global constituye un objetivo prioritario, como demuestra la inclusión en el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación aprobado en 2013, del denominado *Reto en acción sobre cambio climático y eficiencia en la utilización de recursos y materias primas*, cuya primera prioridad es: “**El desarrollo y optimización de redes de observación sistemática del clima** en sus tres dominios: atmosférico, oceánico y terrestre, junto con las técnicas de análisis y modelización de datos”(MEC, 2012).

En el *Programa de Adaptación al Cambio Climático* se desarrolla y amplía la base de conocimiento estratégico sobre los impactos potenciales del cambio climático inducido en Andalucía; en el subprograma 4 dedicado a la *Mejora continua del conocimiento (I+D+i)*, se incluye “la creación de la **Red de Observatorios de Cambio Global de Andalucía** (Artículo 21 del capítulo I incluido en el título III de este Anteproyecto de Ley”), cuyo objetivo es “disponer de un conjunto de datos suficiente para monitorizar a corto, medio y largo plazo los efectos del Cambio Global” (CMAOT). La finalidad última es incorporar el conocimiento científico generado en los centros de investigación de Andalucía, a la toma de decisiones y a la planificación socioeconómica.

Es indudable que, como cita M.F. Pita López, “la red de observación meteorológica mundial es una red muy antigua y diseñada con propósitos no por fuerza climáticos y, desde luego, no adaptados a las nuevas incógnitas y retos que plantea la Climatología actual. Ello determina que muchas de las variables hoy relevantes para la comprensión del funcionamiento del sistema climático (nubosidad, radiación solar, etc.) apenas sean contempladas en dicha red. (...) Pero incluso las variables climatológicas más convencionales y con cobertura espacial más amplia como la temperatura y la precipitación, dejan extensos espacios sin cubrir y se nutren cada vez más de datos de reanálisis, los cuales son los únicos capaces de satisfacer las necesidades impuestas

por el objetivo de la modelización del sistema climático en su conjunto” (Jeffrey et al, 2001 citado por Pita López, 2007).

Las palabras de Trenberth (2002), uno de los grandes investigadores en este ámbito, resumen estas cuestiones al afirmar que “el sistema de observación del clima será una herramienta de información esencial para la planificación y para hacer frente al cambio climático en todo el mundo. Por lo tanto, independientemente de si la tasa de cambio inducida por el hombre sea más lenta o menos, es una realidad suficientemente convincente para:

- Mejorar la descripción de los cambios que se van produciendo en el clima
- Evaluar de una forma más precisa por qué los cambios están sucediendo, en particular el papel de los forzamientos, las inercias del sistema climático y la variabilidad natural
- Continuar mejorando la capacidad de producir predicciones fiables del clima para horizontes futuros de planificación en diferentes escalas temporales, desde estacionales hasta décadas.

La vigilancia del clima requiere estabilidad debido a que muchas de las señales climáticas se producen a escalas temporales muy pequeñas que, aunque no son importantes en relación a los cambios diarios de la atmósfera y la predicción diaria, pueden enmascarar cambios reales y significativos en el clima a largo plazo”.

Finalizaremos dando la bienvenida a la futura Ley del Servicio Meteorológico del Estado, un buen punto de partida para encontrar soluciones al actual deterioro de la red histórica, así como para buscar soluciones a problemas futuros. El Anteproyecto redactado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, del que sólo hemos encontrado mención en la prensa (Europa Press, 2014), reconoce que las instalaciones actuales no están coordinadas entre sí y que es necesario evitar duplicidades y rentabilizar las inversiones públicas en esta materia.

Esperemos que la redacción y entrada en vigor de dicha ley, sirva como instrumento para la coordinación entre administraciones y para llevar a cabo el diseño racional de referencia, de una red de observación meteorológica *integrada*.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CMAOT. *Red de Observatorios de Cambio Global de Andalucía* [Online]. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=040c6dcaa537310VgnVCM100001325e50aRCRD&vgnnextchannel=88be693aa8465310VgnVCM100001325e50aRCRD> [Acceso 12 de julio 2015].
- DALY, C. 2006. Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International Journal of Climatology*, 26, 707-721.10.1002/joc.1322.
- DERA. 2014. *Dominios territoriales de la Comunidad Autónoma de Andalucía* [Online]. Instituto de Estadística y Cartografía. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/> [Acceso 3 de septiembre 2015].
- ELLSAESSER, H. W., MACCRACKEN, M. C., WALTON, J. J. & GROTCHE, S. L. 1986. Global climatic trends as revealed by the recorded data. *Reviews of Geophysics*, 24, 745-792.10.1029/RG024i004p00745.
- JOLLIFFE, I. T. & PHILIPP, A. 2010. Some recent developments in cluster analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35, 309-315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2009.07.014>.
- LAZO, J. K. & CHESTNUT, L. G. 2002. Economic value of current and improved weather forecasts in the U.S. household sector. Boulder, Colorado, Report prepared for the National Oceanic and Atmospheric Administration.
- LUNA HUERTA, J. M. 2015. *Análisis de las tendencias registradas en los extremos termo-pluviométricos en Andalucía*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla.
- MEC 2012. *Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica de Innovación 2013-2016*, Gobierno de España. Disponible: [http://wwwsp.inia.es/IDi/Documents/130201\\_plan.pdf](http://wwwsp.inia.es/IDi/Documents/130201_plan.pdf) [Acceso 12 de julio 2015].
- MULLER, C. L., CHAPMAN, L., JOHNSTON, S., KIDD, C., ILLINGWORTH, S., FOODY, G., OVEREEM, A. & LEIGH, R. R. 2015. Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential. *International Journal of Climatology*, 35, 3185-3203.10.1002/joc.4210.
- OAPN 2010. Presentación del Programa de Seguimiento del Cambio Global en la Red de Parques Nacionales. *Red Cambio Global. Boletín de seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales*,
- OMM 2011. *Guía de prácticas climatológicas*, Ginebra, Organización meteorológica Mundial. Disponible: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/guide\\_climat\\_practices.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/guide_climat_practices.php).
- OMM 2010. *Manual del sistema mundial de observación*, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial. Disponible: [http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice\\_display&id=5460#.VbTSqvkeYpA](http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice_display&id=5460#.VbTSqvkeYpA) [Acceso 26 de julio de 2015].
- PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the



- Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.10.1002/joc.4036.
- PETERSON, T., DAAN, H. & JONES, P. 1997. Initial selection of a GCOS surface network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2145-2152.10.1175/1520-0477(1997)078<2145:isoags>2.0.co;2.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2007. Horizontes y retos de la ciencia climática. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 553-560.
- SANTOS, M. 2000. *La naturaleza del espacio. Técnica y Tiempo. Razón y Emoción.*, Barcelona, Ariel.
- ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .
- SZENTIMREY, T. Something like an Introduction. Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases, 2003 Budapest, Hungary. World Meteorological Organization.
- TRENBERTH, K. E., KARL, T. R. & SPENCE, T. W. 2002. The need for a systems approach to climate observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1593-1602.10.1175/bams-83-11-1593.
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinachangingclimateSp.pdf> [Acceso 16 de marzo 2013].
- WILLMOTT, C. J., ROBESON, S. M. & FEDDEMA, J. J. 1994. Estimating continental and terrestrial precipitation averages from raingauge networks. *International Journal of Climatology*, 14, 403-414. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3370140405>.
- WILLMOTT, C. J., ROBESON, S. M. & FEDDEMA, J. J. 1991. Influence of spatially variable instrument networks on climatic averages. *Geophysical Research Letters*, 18, 2249-2251
- WMO 2003. *Guidelines on climate observation networks and systems*, Ginebra, Word meteorological Organization. Disponible: [www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52\\_000.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52_000.pdf) [Acceso 26 de julio de 2015].
- WMO. International workshop on network design practices: final report of the workshop, papers presented at the workshop. En: WMO, ed. International workshop on network design practices (11-15 November 1991; ), 1991 Koblenz, Alemania. World meteorological Organization.
- WMO 2008. Methods of observation. *The Guide to Hydrological Practices*. Geneve, World Meteorological Organization.

# **QUINTA PARTE**

## **CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS**

### **Capítulo 10. Conclusiones y perspectivas de futuro**



## **C**APÍTULO 10

## **C**ONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

- 10.1. Conclusiones
- 10.2. Perspectivas futuras

## 10.1 Conclusiones

Esta investigación se planteaba dos objetivos generales, que han constituido sus dos líneas de trabajo principales, y que después se traducían en otros específicos. Iremos resumiendo las principales aportaciones dentro de cada una de ellas

En esta investigación son dos objetivos generales que han marcado las líneas de trabajo, dando lugar en su desarrollo a otros específicos que iremos resumiendo.

**A)** En relación al primer objetivo, **describir y analizar las diferentes redes de medición pluviométrica en Andalucía**, a fin de valorar la información que proporcionan en relación a su distribución espacial y temporal, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- Andalucía cuenta con un patrimonio de redes de información climática extraordinario, tanto histórico como actual, este último creado para satisfacer las nuevas necesidades ambientales y de la sociedad en general.
- El subsistema CLIMA de la Red de Información Ambiental es una iniciativa pionera en la gestión de las redes y en la normalización de los datos garantizando su calidad a partir de protocolos de control. No obstante, La información existente se ve afectada, en muchos casos, por las diferentes formas de gestionar y tomar las observaciones, según los organismos responsables de quienes dependen, algunos no integrados aún en CLIMA.
- El subsistema CLIMA de la Red de Información Ambiental es una iniciativa pionera en la gestión de las redes y en la normalización de los datos garantizando su calidad a partir de protocolos de control. No obstante, La información existente se ve afectada, en muchos casos, por diferentes formas tomar las observaciones y gestionarlas, ya que no todos lo organismos responsables están integrados aún en CLIMA.
- La investigación sobre las redes pluviométricas ha puesto de manifiesto la existencia de muchas más estaciones de medición, de organismos oficiales, privados, empresas, incluso *amateurs*. Iniciativas como la ciencia ciudadana, la tecnología web 2.0, sensores de bajo coste etc., pueden poner en valor mucha información dentro de las ciencias climáticas y atmosféricas como ya está ocurriendo en otros campos de la ciencia.

- La investigación sobre las redes pluviométricas ha puesto de manifiesto la existencia de muchas más estaciones de medición, dependientes de organismos oficiales, privados, empresas, e incluso de iniciativas *amateurs*, que las contempladas en un principio.
- La red de observación pluviométrica tradicional de Andalucía de la AEMET experimenta desde finales de los años setenta, cuando alcanza su máximo histórico, un deterioro progresivo que no ha cesado. Esto supone una pérdida de información muy grave, especialmente en el caso de estaciones con series históricas o en emplazamientos de especial relevancia, como las zonas de montañas o áreas con escaso número de observatorios.
- La red de observación pluviométrica tradicional de Andalucía de la AEMET experimenta desde finales de los años setenta, cuando alcanza su máximo histórico, un deterioro progresivo continuo. Esto supone una pérdida muy grave de información, especialmente en el caso de estaciones con series históricas o en emplazamientos de especial relevancia, como las zonas de montañas o las que cuentan con escaso número de observatorios.
- En este sentido resulta especialmente preocupante constatar que las redes automáticas, que en muchos casos sustituyen a las manuales, presentan en su mayoría un número de lagunas tan elevado que las hace prácticamente inservibles. Sería necesario revitalizar esta red de medición de cara al futuro para garantizar la continuidad de muchas series de medición de gran valor.
- El análisis de la evolución histórica de la red de observación pluviométrica tradicional ha permitido constatar que las motivaciones en la consolidación y distribución espacial de las estaciones pluviométricas han sido fundamentalmente agrícolas, ligados a la expansión del regadío y de la mano de todo el desarrollo de la obra hidráulica en Andalucía. Los cambios experimentados en la agricultura, la sociedad y las formas de vida pueden explicar en parte el deterioro de esta red.
- Las redes instrumentales fueron en su mayoría creadas para otros fines y no para el seguimiento del clima a largo plazo, por lo que existen muchos problemas de carácter práctico a la hora de emplear estos datos para el seguimiento y gestión en el contexto de cambio climático actual.
- Esta situación hace que cada vez sean más frecuentes las llamadas a crear nuevos sistemas de observación que garanticen un mínimo de calidad, específicamente diseñados y gestionados para la vigilancia del clima, o bien a la

consolidación de una red de referencia formada por estaciones espacialmente representativas.

- Hay que tener en cuenta que las redes de medición tienen hoy un significado y trascendencia muy diferente al que tenían antes. Por un lado, cada vez parece más claro que las redes de los Servicios Meteorológicos Nacionales tienen un valor económico fundamentado la inversión histórica de los gobiernos las infraestructuras nacionales, cuantificando incluso su valor inestimable como bienes públicos.

Con los progresos recientes de la ciencia y la tecnología, y con las nuevas posibilidades de la información abierta (*Open data*), las redes se han transformado en los que se ha denominado *un espacio de la transacción*. Esto supone una previsión de las funciones que podrán ejercer estos sistemas y ello incluye tanto su forma material como sus reglas de gestión. En virtud de los progresos técnicos y de las formas actuales de realización de la vida económica, las redes son cada vez más globales como dice Milton Santos, se han transformado en redes productivas, de comercio, de transporte, de información.

- Posiblemente El Anteproyecto redactado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente la futura de Ley del Servicio Meteorológico del Estado parece un buen punto de partida para buscar solución al deterioro de la red histórica y coordinación de la multitud de redes existentes en la actualidad que permita rentabilizar las inversiones públicas en esta materia.

**B)** En relación al segundo objetivo principal de esta tesis, **obtener una regionalización pluviométrica de Andalucía** los principales resultados y conclusiones han sido los siguientes:

- Se ha obtenido una regionalización pluviométrica de Andalucía a escala mensual inexistente hasta el presente en la región ya que anteriores propuestas se realizaron a escala diaria.

- El empleo de la base de datos MOPREDAS proporciona una cobertura espacio-temporal excelente que supone que garantiza una densidad de distribución de las estaciones que no ha sido conseguida en estudios precedentes para la región en el análisis de la precipitación. Este conjunto de datos de alta calidad para Andalucía y su entorno garantiza su capacidad de captar los matices espaciales de variabilidad.
- Se han obtenido dos regionalizaciones, una más general que identifica cinco regiones principales y otra, a mayor detalle, con nueve regiones que pueden asociarse a escalas y factores explicativos diferentes.
- Esta regionalización final se ha obtenido tras un análisis exploratorio sobre los datos de entrada y probando diversos procedimientos metodológicos basado principalmente en análisis de conglomerados. Se han realizado diez pruebas a fin de evaluando su calidad a partir del índice medio de Jaccard y de la consistencia espacial y climática de los resultados, evaluados a partir de su representación mediante SIG.
- La estabilidad de los resultados se ha contrastado con las dos regionalizaciones pluviométricas precedentes realizadas a escala diaria (Argüeso et al., 2011 y Romero et al., 1999), obteniéndose una altísima correspondencia entre las zonas delimitadas. Esto nos lleva a pensar que los factores geográficos son los determinantes en el comportamiento pluviométrico de la región que se mantienen tanto a escalas como periodos de análisis temporales diferentes.
- Se ha llevado una primera aproximación a la caracterización estadística, climática y geográficamente las zonas pluviométricas identificadas, apareciendo algunos patrones interesantes entre los que desatamos sólo algunos:
  - De división más general que un gran dominio atlántico que supera distinción entre un ámbito occidental y oriental separado por la barrera de las cordilleras Béticas. Podemos asociar cada uno a una diferenciación entre un régimen mediterráneo de precipitaciones *típico*, aunque con matices espaciales, y el dominio subdesértico. Estas grandes regiones se corresponder las dos tipologías en cuanto al régimen de precipitación que, utilizando la terminología de Köppen, se corresponderían con el dominio Cs (Clima templado de verano seco) y el Bs (Desértico cálido).
  - En la regionalización en cinco zonas se unifica toda la costa mediterránea con el ámbito de la provincia de Cádiz, del Estrecho de



Gibraltar y la Serranía de Ronda. Esta unidad vuelve a *romper* esa primera disimetría que se establece entre los dominios atlántico y mediterráneo y sus mecanismos pluviométricos que presentan más rasgos comunes que diferenciadores a esta escala.

- La idea de la correspondencia entre relieve y ámbitos de precipitación, empleada frecuentemente para distinguir en la clasificación regional del clima basada principalmente en la magnitud de las cantidades, también cambia. En relación a la variabilidad, se unifican ámbitos con características topográficas diferentes mostrando que los factores dinámicos responsables de este comportamiento tienen una influencia dominante a los que determina el relieve.
- En algunas regiones el efecto de la topografía gana importancia unificando ámbitos a través del efecto que ejercen los sistemas montañosos de canalización, los ascensos o los efectos de barrera de los sistemas montañosos. La sombra pluviométrica de la cordillera Subbética delimitando las zona de las Hoyas de Baza y Guadix, o incluso el pasillo de la Vega de Granada o Antequera en la zona interior de Andalucía explican la configuración espacial de estas regiones.
- A partir de las estaciones clasificadas se han generalizado espacialmente las dos propuestas de regionalización en una primera aproximación cartográfica.

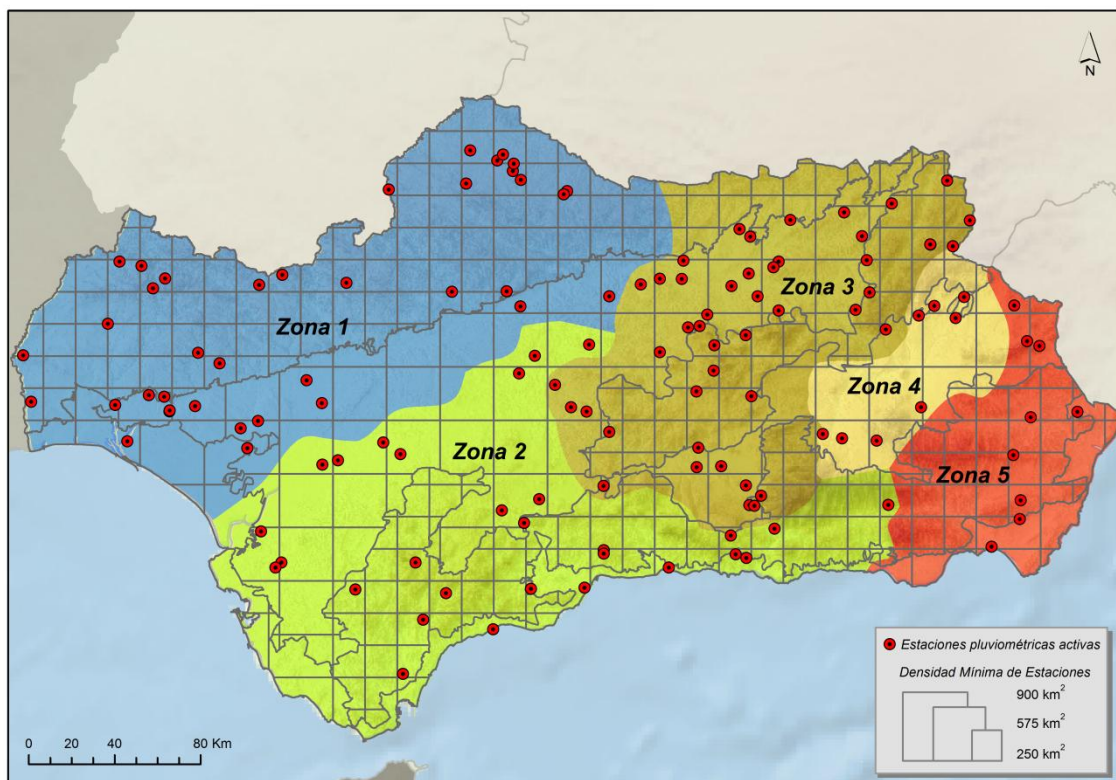
**C)** Estas dos líneas de trabajo de esta tesis convergen para **evaluar el estado actual de las redes** de medición y su capacidad de seguimiento en la gestión climática. Este último capítulo obtienen resultados constituyen en sí mismos propuestas para mejorar la gestión. Las principales aportaciones de esta sección analizando la red principal de Andalucía (AEMET) son:

- Evaluar el estado actual de la red de medición pluviométrica de la Aemet a partir de tres criterios ha permitido su evaluación para cada uno de ellos según:
  - La calidad de las series en función del número de lagunas.
  - La extensión temporal de los registros de cada estación.
  - Las sugerencias de densidad óptima según las tipologías fisiográficas establecidas por la OMM.
- Se ha realizado una valoración espacial de la cobertura y representatividad de la red pluviométrica según cada uno de estos criterios ofreciendo una salida

cartográfica que permite su evaluación. Finalmente los tres criterios se han integrado resultando un total de 181 estaciones que representan las mejores estaciones de la región. Analizando la figura siguiente que volvemos a presentar a modo de conclusión gráfica podemos decir:

- Quedan importantes ámbitos de Andalucía sin cubrir y con una densidad muy inferior a las recomendaciones de la OMM. No obstante, si buscamos consolidar una Red Básica de Referencia Pluviométrica según la regionalización obtenida, podemos decir que, para la regionalización en cinco zonas todas quedan cubiertas, incluso dentro de los subámbitos que se diferencian según las unidades fisiográficas, la mayoría también están representados a excepción de algunos.
- La selección inicial podría ser mejorar si considerásemos las series provenientes de observatorios manuales, que podrían continuar si se *uniesen*, mediante procedimientos climáticos correctos, con las estaciones automáticas que las sustituyen. En este sentido la base de datos MOPREDAS puede facilitar mucho este proceso ya que ha reconstruido un gran número de estaciones.

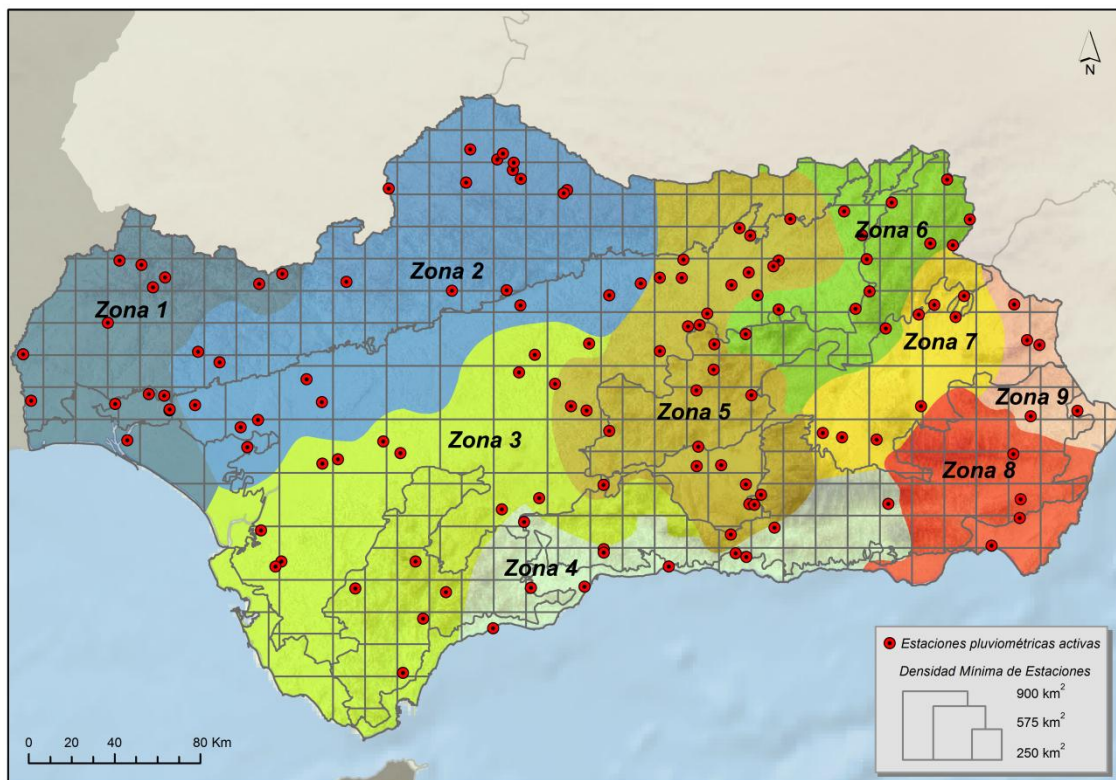
**Figura 1.10: Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 5 zonas.**



Fuente Elaboración propia.

- Si nuestro objetivo fuese encaminarnos hacia la evaluación de una Red de Referencia Regional (RRR), necesitaríamos aumentar la densidad de estaciones para cumplir las recomendaciones de la OMM ya que la región queda muy descubierta en ámbitos extensos, como muestra la siguiente figura 2.10.
- Estas dos figuras permiten evaluar qué estaciones son redundantes, y considerar posibles opciones para optimizarlas mediante su eliminación, a fin de reducir los costes, o bien utilizar esos recursos para establecer estaciones en emplazamientos representativos o no cubiertos, lo que contribuiría a lograr más eficazmente los objetivos de la red

**Figura 2.10: Estaciones activas de mejor calidad en la propuesta de regionalización en 9 zonas**



Fuente Elaboración propia.

- A partir de esta primera aproximación se podría llevar a cabo un diagnóstico y establecer un plan de recuperación encaminado a obtener una futura optimización de la red de observación pluviométrica estatal y futura red de referencia básica y regional de los cambios en la precipitación con garantías

de calidad y continuidad en el tiempo que represente con fiabilidad la variabilidad espacio-temporal de Andalucía.

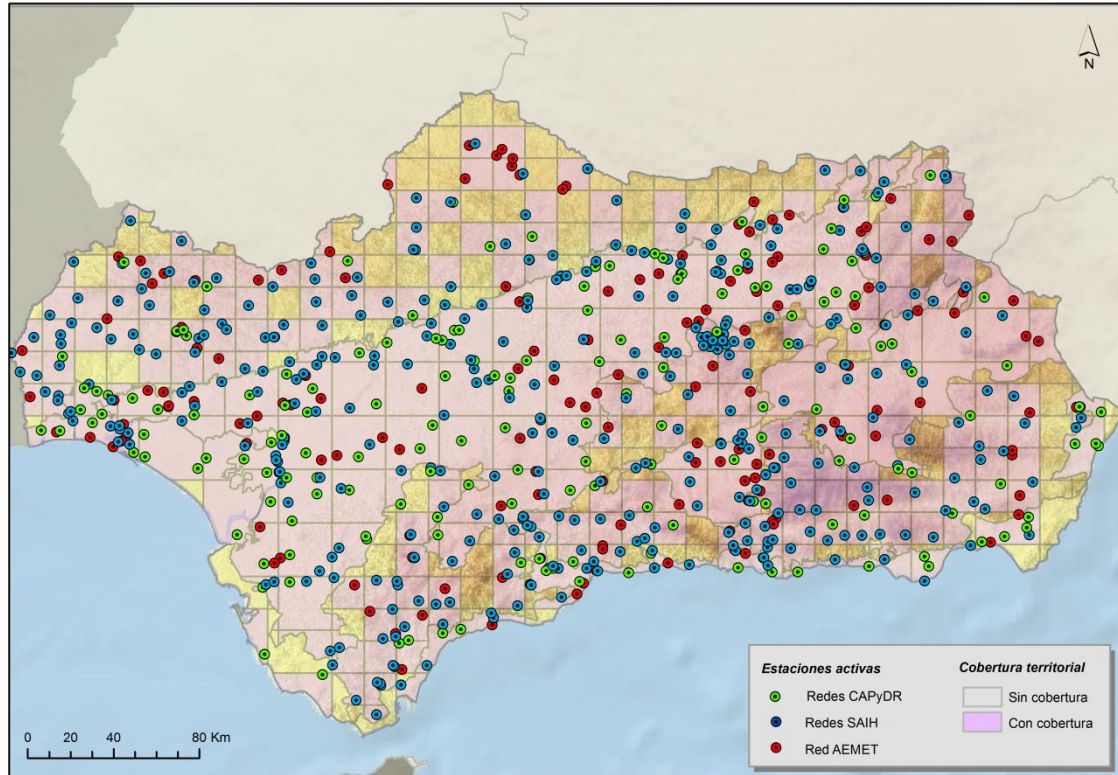
- Hemos completado este análisis incorporando las estaciones de las redes SAIH, las dos de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (CAPDR) de la Junta de Andalucía (CAPDR) con las mejores estaciones de la AEMET. Podemos hablar de un banco de datos potencial que puede asegurar su continuidad añadiendo a estas redes que ya disponen de financiación. Unificándolas obtenemos un periodo mínimo común garantizado que, por término medio, pueden ofrecer una longitud base de unos 10-15 años, comenzando aproximadamente en el año 2000 y que representamos a continuación.

El resultado es una extraordinaria cobertura espacial que se adecua a los criterios de la OMM muy buena para casi todo el conjunto de la región.

Esto constituye una gran oportunidad para Andalucía que a partir de aquí puede encaminar sus esfuerzos hacia:

- Optimización de la red de medición eliminando redundancias, estaciones de baja calidad, etc.
- Aplicar los 10 criterios la OMM de gestión del clima (WMO/TD-No.847)(WMO, 2003).
- Realizar un proceso de selección de estaciones homogéneas para la creación de una Red Básica de Referencia regional.
- Integrar las redes SAIH en el subsistema CLIMA.
- Buscar estrategias financiación .para mejorar el mantenimiento de la red de observación.
- Optimizar recursos intentando mejorar la red existente y sólo crear nuevas redes o estaciones de observación en lugares sin cobertura o especialmente vulnerables como las zonas de alta montaña.

Figura 3.10: Estaciones de la red SAIH, RIA, RAIF y óptimas AEMET.



Fuente: Organismo representados en la figura.

#### D) Conclusiones para a la gestión medioambiental

Los resultados de esta investigación pueden contribuir a dar respuesta a las necesidades de información en los procesos de planificación y gestión medioambiental. En los momentos actuales en que el cambio climático centra la preocupación mundial por las consecuencias sobre todas los componentes del medio, es obligado analizar el clima y para ello es necesario tener un conocimiento previo de los rasgos climáticos de los territorios, identificando regiones y patrones espaciales de variabilidad que se puedan emplear en el seguimiento del clima regional y sus efectos medioambientales. Sólo así se podrá lograr una mejor adaptación a los cambios futuros.

Aparece nuevos marcos de referencia para poner en valor el papel de las observaciones climáticas, como las Redes de Referencia a las que hemos aludido, o el nuevo **Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC)** y la definición de

**Variables Climáticas Esenciales** (*Essential Climate Variables* (ECVs)) como aparece en la siguiente figura adaptada de la OMM.

El Sistema Mundial de Observación del Clima, creado bajo los auspicios de organizaciones de las Naciones Unidas y el Consejo Internacional para la Ciencia, a fin de asegurar la disponibilidad de observaciones sistemáticas del clima, ha desarrollado estos dos conceptos que han sido ampliamente adoptados en todo el mundo como guía para la observación del clima, incluyendo la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la OMM y las agencias espaciales de satélites de observación de la Tierra (Bojinski *et al.*, 2014).

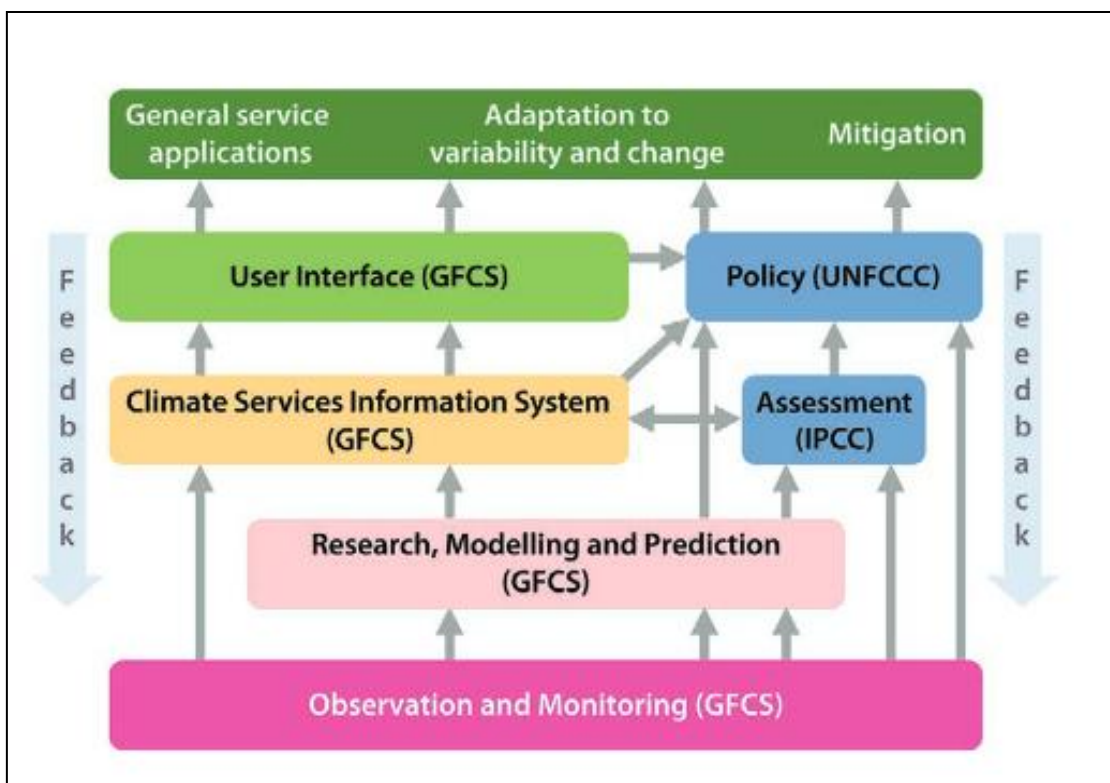
La evaluación del cambio climático, el desarrollo y la aplicación de de gestión ambiental deben incorporarse a este nuevo marco de referencia donde los flujos se producen en ambos sentidos como una forma de mejorar los sistemas de observación y seguimiento.

De esta forma, se podrá dar respuesta a las necesidades de la región puestas de manifiesto por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio que expone que: “resulta procedente estudiar la zonificación climática derivada de los escenarios regionales de cambio climático y su comparación con la situación actual”.

En Andalucía la política medioambiental gira en torno al *Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático*, por lo que la finalidad última de nuestro estudio es incorporar el conocimiento científico generado en los centros de investigación de Andalucía a la toma de decisiones y a la planificación ambiental. En el Anexo 7 de este trabajo hemos recopilado algunos ejemplos de aplicación y casos prácticos de las regionalizaciones que pueden ilustrar todo nuestro trabajo.



**Figura 4.10: El papel de la observaciones climáticas dentro del Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC) y en el apoyo de la investigación**



Fuente: Bojiski y otros(2004)

### E) A modo de conclusión final

Las contribuciones de de esta investigación y la metodología desarrollada se enmarcan dentro de ramas de la climatología diferentes que, según los resultados y apartados del trabajo serían:

- *Historia de la climatología y epistemología*: marco teórico.
- *Climatología histórica*: evolución de la red de observación en Andalucía.
- *Climatología regional*: regionalización pluviométrica
- *Cambio climático y variabilidad*: caracterización de la variabilidad regional hacia una propuesta de una red de seguimiento del clima.

Todo ello ha supuesto una revisión bibliografía y documentación muy diversa que hemos querido organizar por separado con el fin de que pueda ser útil en futuras investigaciones, facilitando la labor de revisión y actualización en cada uno de estos campos de la climatología.

## 10.2. Perspectivas de futuro regionalización

Esta investigación ha abierto muchos caminos que deseamos continuar en un futuro, en parte porque algunos de los resultados necesitan alcanzar una mayor profundización una vez obtenidos y, por otro lado, aparecen nuevas perspectivas metodológicas y de aplicación.

### A) Perspectivas metodológicas:

- En general deseáramos completar nuestro proceso de regionalización completando la validación estadísticas de las regiones tanto con otras pruebas empleadas comúnmente en estos procedimientos, tales como un análisis de conglomerados no jerárquicos o el análisis discriminante para confirmar la formación de las regiones obtenidas partiendo de las existentes. Somos conscientes los métodos jerárquicos son muy sensibles a los criterios de unión elegidos y, por consiguiente, pueden ser bastante inestables. Elegimos esta metodología por las grandes ventajas que presenta ya que permite decidir el número de conglomerados en vez de fijarlos de antemano, y que da una visión muy gráfica de las relaciones de proximidad. Pero en general los métodos no jerárquicos iterativos dan resultados más estructurados.

Además quisiéramos avanzar en el futuro en las siguientes líneas:

- Analizar el patrón temporal de cada una de las zonas
- Ensayar con otros datos de entrada:
  - Base de datos reanálisis
  - Datos de salidas de modelos para ver cambios futuros en las zonas pluviométricas.
- Profundizar en los métodos de detección y delimitación de fronteras espaciales mediante procedimientos adecuados de análisis espacial.
- Espacialización de la precipitación en cada una de las regiones obtenidas que nos permitan obtener modelos del comportamiento de la precipitación mediante técnicas geoestadísticas para cada una de las zonas.
- Profundizar en los mecanismos y factores explicativos de cada una de las zonas
  - geográficos



- sinópticos
- Para cada región estudiar la distribución de frecuencias de cada uno de los meses y ajustar a modelos de probabilidad para cada una de las zonas.
- Buscar alternativas a la descripción de las regiones más precisas que la serie media que suaviza las diferencias existentes entre zonas.
- Profundizar en la descripción geográfica, climática y estadística de mayor detalle de las dos regionalizaciones, especialmente en la propuesta de nueve zonas.
- Trabajar en métodos de optimización de la red de medición pluviométrica de Andalucía.
- Repetir la misma metodología con otras a fin de verificar si se delimitan otros grupos o se mantiene los mismos que con la base de datos empleada:
  - Periodos de tiempo más cortos.
  - Incorporar los datos pluviométricos de otras redes de medición.
  - Realizar los análisis sobre subconjuntos de la base de datos empleada para comprobar las regionalizaciones que se obtienen.

## **B) Perspectivas aplicadas**

- Ofrecer nuestros resultados en la web para que sean descargables y puedan ser útiles
- Creación de una web/visor “Web pluviométrica de Andalucía”
- Avanzar hacia una propuestas de Red de Referencia Pluviométrica para Andalucía que pueda servir a los organismos responsables de las redes pluviométricas en su gestión.

## REFERENCIAS

- BOJINSKI, S., VERSTRAETE, M., PETERSON, T. C., RICHTER, C., SIMMONS, A. & ZEMP, M. 2014. The Concept of Essential Climate Variables in Support of Climate Research, Applications, and Policy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95, 1431-1443.10.1175/bams-d-13-00047.1.
- WMO 2003. *Guidelines on climate observation networks and systems*, Ginebra, World meteorological Organization. Disponible: [www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52\\_000.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52_000.pdf) [Acceso 26 de julio de 2015].

# CAPÍTULO 11

# BIBLIOGRAFÍA

- 11.1. CAPÍTULO 1
- 11.2. CAPÍTULO 2
- 11.3. CAPÍTULO 3
- 11.4. CAPÍTULO 4
- 11.5. CAPÍTULO 5
- 11.6. CAPÍTULO 6
- 11.7. CAPÍTULO 7
- 11.8. CAPÍTULO 8
- 11.9. CAPÍTULO 9
- 11.10. CAPÍTULO 10

### 11.1. CAPÍTULO 1

- ABATZOGLOU, J. T., REDMOND, K. T. & EDWARDS, L. M. 2009. Classification of Regional Climate Variability in the State of California. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 1527-1541.10.1175/2009jamc2062.1.
- AHMED, B. Y. M. 1997. Climatic classification of Saudi Arabia: An application of factor cluster analysis. *GeoJournal*, 41, 69-84.10.1023/a:1006827322880.
- BRUNETTI, M., MAUGERI, M., MONTI, F. & NANNI, T. 2006. Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26, 345-381
- CAPEL MOLINA, J. J. 1983. Distribución de la lluvia en el sureste español. Periodo:1951-1980. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Letras*, 27-36
- CAPEL MOLINA, J. J. & ANDUJAR CASTILLO, F. 1978. Mapa pluviométrico de Andalucía. *Paralelo 37*, 2, 197-209
- CASTILLO REQUENA, J. M. 1980. Causas de la indigencia pluviométrica del Levante Andaluz. *Rev. Paralelo*, 37, 153-174
- CASTILLO REQUENA, J. M. 1989. *El clima de Andalucía: clasificación y análisis regional con los tipos de tiempo*, Almería, Diputación Provincial de Almería. Instituto de Estudios Almerienses.
- CASTILLO REQUENA, J. M. 2000. Evolución de la precipitación anual en las regiones pluviométricas andaluzas. Observaciones de geografía comparada sobre las posibilidades de regulación y trasvase de recursos hídricos. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 123-141
- CMA 2011. *Programa andaluz de adaptación al cambio climático*, Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 122. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temasambientales/clima/actuaciones\\_cambio\\_climatico/adaptacion/programa\\_adaptacion/programa\\_adaptacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temasambientales/clima/actuaciones_cambio_climatico/adaptacion/programa_adaptacion/programa_adaptacion.pdf) [Acceso 12 de julio 2015].
- CUADRAT PRATS, J. M., SERRANO, R., SAZ, M. Á. & MARÍN, J. M. 2011. Patrones temporales y espaciales de la precipitación en Aragón desde 1950. *Geographicalia*, 85-94

- DE LUÍS, M., RAVENTÓS, J., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., SÁNCHEZ, J. R. & CORTINA, J. 2000. Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain). *International Journal of Climatology*, 20, 1451-1469
- FREEBAIRN, J. W. & ZILLMAN, J. W. 2002. Economic benefits of meteorological services. *Meteorological Applications*, 9, 33-44. doi:10.1017/S1350482702001044.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).
- GONZALEZ-HIDALGO, J. C., LOPEZ-BUSTINS, J.-A., ŠTEPÁNEK, P., MARTIN-VIDE, J. & DE LUIS, M. 2009. Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000). *International Journal of Climatology*, 29, 1415-1429. doi:10.1002/joc.1780.
- MONTES, C., BORJA, F., BRAVO, M. A. & MOREIRA, J. M. 1998. *Doñana: Una Aproximación Ecosistémica* [Online]. Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/clasificacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/clasificacion.pdf) [Acceso 5 de julio 2015].
- PANAGOS, P., BALLABIO, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., KLIK, A., ROUSSEVA, S., TADIĆ, M. P., MICHAELIDES, S., HRABALÍKOVÁ, M., OLSEN, P., AALTO, J., LAKATOS, M., RYMSZEWICZ, A., DUMITRESCU, A., BEGUERÍA, S. & ALEWELL, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment*, 511, 801-814. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
- PETERSON, T. C., VOSE, R., SCHMOYER, R. & RAZUVAËV, V. 1997. Quality Control of Monthly Climate Data: The GHCN Experience. *International Journal of Climatology*,
- PITA LÓPEZ, M. F. 2003. El clima de Andalucía. *Geografía de Andalucía*. Madrid, Editorial Ariel, 137-173.
- REDIAM. *WMS Mapa de Áreas de pluviometría homogénea en Andalucía* [Online]. Consejería de medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM\\_areas\\_pluviometria\\_homogenea](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM_areas_pluviometria_homogenea) [Acceso 12 de julio 2015].

- SANTOS, M. 2000. *La naturaleza del espacio. Técnica y Tiempo. Razón y Emoción.*, Barcelona, Ariel.
- VOSE, R. S. 2005. Reference Station Networks for Monitoring Climatic Change in the Conterminous United States. *Journal of Climate*, 18, 5390-5395.10.1175/jcli3600.1.
- WILLMOTT, C. J. 1978. P-mode principal components analysis, grouping and precipitation regions in California. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 26, 277-295.10.1007/bf02243232.
- WILLMOTT, C. J., ROBESON, S. M. & FEDDEMA, J. J. 1994. Estimating continental and terrestrial precipitation averages from raingauge networks. *International Journal of Climatology*, 14, 403-414. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3370140405>.

## 11.2. CAPÍTULO

AGUILAR-ALBA, M. 2007. Cambios y tendencias recientes en las precipitaciones de Andalucía. En: SOUSA, A., GARCÍA-BARRÓN, L. Y JURADO, V. (ed.) *El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medioambientales*. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía.

AGUILAR-ALBA, M. & PITA LÓPEZ, M. F. Evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía occidental: su repercusión en la gestión de los recursos hídricos. *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*, 1996.

AGUILAR-ALBA, M., SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, E. & PITA LÓPEZ, M. F. 2006. Tendencia de las precipitaciones en marzo en el sur de la Península Ibérica. En: CUADRAT, J. M. E. A. (ed.) *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Zaragoza, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).

ANDALUCIA, I. *Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía* [Online]. Disponible: <http://www.ideandalucia.es/portal/web/ideandalucia/> [Acceso 10 de enero 2015].

ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2012. High-resolution projections of mean and extreme precipitation over Spain using the WRF model (2070–2099 versus 1970–1999). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117, D12108.10.1029/2011jd017399.

ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate

studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.10.1175/jcli-d-11-00073.1.

BARNSTON, A. G. & LIVEZEY, R. E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115, 1083-1126.10.1175/1520-0493(1987)115<1083:csapol>2.0.co;2.

CAPEL MOLINA, J. 1977. El clima de la cuenca baja del Guadalquivir. *Cuadernos Geográficos*, 307-350.

CAPEL MOLINA, J. J. 1983. Distribución de la lluvia en el sureste español. Periodo:1951-1980. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Letras*, 27-36

CAPEL MOLINA, J. J. 1987. El clima de Andalucía. En: CANO, G. (ed.) *Geografía de Andalucía*. Sevilla, Editorial Tartessos,99-186.

CAPEL MOLINA, J. J. 2000. *El clima de la Península Ibérica*, Barcelona, Ariel.

CAPEL MOLINA, J. J. La aridez en la Península Ibérica. Homenaje almeriense al botánico Rufino Sagredo, 1982. Instituto de Estudios Almerienses.

CASTILLO, F. A. & MOLINA, J. J. C. 1978. El mapa pluviométrico de Andalucía. *Paralelo 37*, 197-209

CASTILLO REQUENA, J. M. 1989. *El clima de Andalucía: clasificación y análisis regional con los tipos de tiempo*, Almería, Diputación Provincial de Almería.Instituto de Estudios Almerienses.

CLIMA. 2015. *Subsistema CLIMA* [Online]. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/> [Acceso 8 agosto 2015].

CNIG. *Centro Nacional de Información Geográfica* [Online]. Centro Nacional de Información Geográfica. Ministerio de Fomento. Disponible: <https://www.cnig.es/> [Acceso 8 de junio 2015].

DERA. 2014. *Dominios territoriales de la Comunidad Autónoma de Andalucía* [Online]. Instituto de Estadística y Cartografía. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/> [Acceso 3 de septiembre 2015].

FERNÁNDEZ-MONTES, S. & RODRIGO, F. 2015. Trends in surface air temperatures, precipitation and combined indices in the southeastern Iberian Peninsula (1970-2007). *Climate Research*, 63, 43-60.10.3354/cr01287.

FONT TULLOT, I. 2000. *Climatología de España y Portugal*, Ediciones Universidad de Salamanca.

GARCÍA-BARRÓN, L., AGUILAR-ALBA, M. & SOUSA, A. 2011. Evolution of annual rainfall irregularity in the southwest of the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 103, 13-26.10.1007/s00704-010-0280-0.

GARCÍA-BARRÓN, L., MORALES, J. & SOUSA, A. 2013. Characterisation of the intra-annual rainfall and its evolution (1837–2010) in the southwest of the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 114, 445-457.10.1007/s00704-013-0855-7.

GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).

GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., BRUNETTI, M. & DE LUIS, M. 2011. A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005). *International Journal of Climatology*, 31, 715-731.10.1002/joc.2115.

GONZALEZ-HIDALGO, J. C., LOPEZ-BUSTINS, J.-A., ŠTEPÁNEK, P., MARTIN-VIDE, J. & DE LUIS, M. 2009. Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000). *International Journal of Climatology*, 29, 1415-1429.10.1002/joc.1780.

IDEE. *Infraestructura de Datos Espaciales de España* [Online]. Ministerio de Fomento. Disponible: <http://www.idee.es/> [Acceso 10 de febrero 2015].

LÓPEZ, M. F. P., NARANJO, J. M. C. & ALBA, M. A. 1999. La evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y sus relaciones con el índice de la NAO. En: RASO, J. M. Y. M.-V., J. (ed.) *La climatología española en los albores del siglo XXI. I Congreso de la Asociación de Climatología*. Barcelona, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, 399-408.

MARTÍN-VIDE, J. 2011. Estructura temporal fina y patrones espaciales de la precipitación en la España peninsular. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona* [Online], Tercera Época. Num. 1030, Vol. LXV Num. 3. Disponible: [www.racab.es/publicacions/pdf/1030.pdf](http://www.racab.es/publicacions/pdf/1030.pdf) [Acceso 2 de junio 2015].

MARTIN-VIDE, J. & LOPEZ-BUSTINS, J.-A. 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26, 1455-1475.10.1002/joc.1388.



PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.10.1002/joc.4036.

PITA LÓPEZ, M. F. 2003. El clima de Andalucía. *Geografía de Andalucía*. Madrid, Editorial Ariel,137-173.

PITA LÓPEZ, M. F. 1987. El riesgo potencial de sequía en Andalucía. *Revista de estudios andaluces*, 11-40

PITA LÓPEZ, M. F. 2001. Un nouvel indice de sécheresse pour les domaines méditerranées. Application au bassin du Guadalquivir (Sud-ouest de l'Espagne). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 13, 23-35

PITA LÓPEZ, M. F. & AGUILAR-ALBA, M. Evolution and changes in the rainfall variability in Andalusia (Spain) during the last century. *En: AL, A. E., ed. Climate and environmental change*, 1998 Evora. Ed. Colibri.

PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR-ALBA, M., CAMARILLO NARANJO, J. M., ALVAREZ FRANCO, J. I. & ABREU FERNÁNDEZ, L. La covariación espacial de la precipitación en la península ibérica y su contribución al establecimiento de mecanismos de compensación interterritorial como instrumento de ayuda en la gestión de las sequías. 2002.

PITA LÓPEZ, M. F., MORGA JUBERA, O., BLÁZQUEZ CALZADA, M. J. & EREZA DÍAZ, M. 1985. La variabilidad pluviométrica en la cuenca baja del Guadalquivir. *Revista de estudios andaluces*, 167-184

R-PROJECT. *The R Project for Statistical Computing* [Online]. The R Project for Statistical Computing. Disponible: <https://www.r-project.org/>.

RAMOS-CALZADO, P., GÓMEZ-CAMACHO, J., PÉREZ-BERNAL, F. & PITA-LÓPEZ, M. F. 2008. A novel approach to precipitation series completion in climatological datasets: application to Andalusia. *International Journal of Climatology*, 28, 1525-1534.10.1002/joc.1657.

RAMOS CALZADO, P. 2003. *Análisis de las precipitaciones en Andalucía occidental a escala comarcal*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General Técnica. Instituto Nacional de Meteorología.

REDIAM. *Red de Información Ambiental de Andalucía* [Online]. Consejería de medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM> [Acceso 12 de julio 2015].

RODRIGO, F. S. 2002. Changes in climate variability and seasonal rainfall extremes: a case study from San Fernando (Spain), 1821-2000. *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 193-207

RODRIGO, F. S., ESTEBAN- PARRA, M. J., POZO-VÁZQUEZ, D. & CASTRO DÍEZ, A. Y. 2000. Rainfall variability in southern Spain on decadal to centennial time scales. *Int. J. Climatol*, 20, 721-732

RODRIGO, F. S., GÓMEZ-NAVARRO, J. J. & MONTÁVEZ GÓMEZ, J. P. 2012. Climate variability in Andalusia (southern Spain) during the period 1701-1850 based on documentary sources: evaluation and comparison with climate model simulations. *Clim. Past*, 8, 117-133.10.5194/cp-8-117-2012.

ROMERO, R., GUIJARRO, J. A., RAMIS, C. & ALONSO, S. 1998. A 30-year (1964–1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study. *International Journal of Climatology*, 18, 541-560.10.1002/(sici)1097-0088(199804)18:5<541::aid-joc270>3.0.co;2-n.

ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.10.1002/(sici)1097-0088(199904)19:5<557::aid-joc377>3.0.co;2-d.

RUIZ-SINOGA, J. D., GARCIA-MARIN, R., GABARRON-GALEOTE, M. A. & MARTINEZ-MURILLO, J. F. 2012. Analysis of dry periods along a pluviometric gradient in Mediterranean southern Spain. *International Journal of Climatology*, 32, 1558-1571.10.1002/joc.2376.

RUIZ SINOGA, J. D., GARCIA MARIN, R., MARTINEZ MURILLO, J. F. & GABARRON GALEOTE, M. A. 2011. Precipitation dynamics in southern Spain: trends and cycles. *International Journal of Climatology*, 31, 2281-2289

SAIH. *Sistema Automático de Información Hidrológica de las Cuencas del Guadalquivir - Guadalete y Barbate* [Online]. Disponible: <http://www.chguadalquivir.es/saih/> [Acceso 15 de junio 2015].

SAMPEDRO SÁNCHEZ, D. & DEL MORAL ITUARTE, L. 2014. Tres décadas de política de aguas en Andalucía. Análisis de procesos y perspectiva territorial. 53. Disponible: <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/1448/2476>.

SNIRH. *Servicio Nacional de Informação de Recursos Hídricos* [Online]. Disponible: <http://snirh.pt/> [Acceso 28 de mayo 2010].

SOTILLO, M. G., RAMIS, C., ROMERO, R., ALONSO OROZA, S. & HOMAR, V. 2003. Role of orography in the spatial distribution of precipitation over the Spanish Mediterranean zone. *Climate Research*, 23, 247-261

STEINER, D. 1965. Multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification. *Tijdschrift van het Aardrijkskundig Genootschap*, 329-347

ŠTĚPÁNEK, P. 2003. *AnClim - software for time series analysis* [Online]. MU, Brno: Dept. of Geography. Fac. of Natural Sciences. Disponible: <http://www.climahom.eu/software-solution/anclim> [Acceso 5 abril 2008].

ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .

VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I., GARCÍA-VERA, M. A. & STEPANEK, P. 2010. A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity. *International Journal of Climatology*, 30, 1146-1163.10.1002/joc.1850.

WHITEMAN, C. D. 2000. *Mountain meteorology: fundamentals and applications*, Oxford, Oxford University Press.

### 11.3. CAPÍTULO 3

ABATZOGLOU, J. T., REDMOND, K. T. & EDWARDS, L. M. 2009. Classification of Regional Climate Variability in the State of California. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 1527-1541.

AHMED, B. Y. M. 1997. Climatic classification of Saudi Arabia: An application of factor cluster analysis. *GeoJournal*, 41, 69-84.

ALMAZROUI, M., DAMBUL, R., ISLAM, M. N. & JONES, P. D. 2014. Principal components-based regionalization of the Saudi Arabian climate. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a.

ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.

ASPINALL, R. 2010. A century of Physical Geography research in the Annals. *Annals of the Association of American Geographers*, 100, 1049-1059.

BAEDE, A. P. M. 2007. Anexo I. Glosario. En: IPCC (ed.) *IPCC Fourth Assessment Report (AR4)*. IPCC.

BAKER, B., DIAZ, H., HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2010. Use of the Köppen–Trewartha climate classification to evaluate climatic refugia in statistically

- derived ecoregions for the People's Republic of China. *Climatic Change*, 98, 113-131.
- BALLING, R. C. J. 1984. Classification in Climatology. *En: GAILE, G. & WILLMOTT, C. (eds.) Spatial Statistics and Models*. Springer Netherlands, 81-108.
- BERTANI, L. 2003. Aproximaciones al debate positivismo-historicismo: consideraciones acerca de la geografía física. *Boletín Geográfico*, pág. 61-84.
- BOSQUE SENDRA, J., RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, V. & SANTOS PRECIADO, J. M. 1983. La geografía cuantitativa en la universidad y la investigación española. *Geocrítica. Cuadernos críticos de Geografía Humana*, Año VIII.
- BRADSHAW, R. P. El futuro de la Geografía Cuantitativa. *En: (AGE), G. D. M. C., ed. Geografía teórica y cuantitativa: concepto y métodos*, 1983 Oviedo. Asociación de Geógrafos Españoles.
- BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A. 1998. *Principles of Geographic Information Systems*, London, Oxford University Press.
- BURTON, I. 1972. The quantitative revolution and theoretical geography. *En: DAVIES, W. K. D. (ed.) Conceptual revolution in geography*. Londres, University of London Press Ltd, 140-156.
- BURTON, I. & KATES, R. W. 1964. The perception of natural hazards in resource management. *Nat. Resources J.*, 3, 412-441.
- CAPEL SÁEZ, H. 1981. *Filosofía y Ciencia en la Geografía contemporánea*, Barcelona, Barcanova.
- CAPEL SÁEZ, H. 2005. Las TIGs en los concursos de habilitación para profesores titulares de geografía humana: una cuestión nada anecdótica. *Biblio 3W GeoCrítica*.
- CAPEL SÁEZ, H. 1973. Percepción del medio y comportamiento geográfico. *Revista de geografía (en línea)* [Online], 7. Disponible: <http://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/45873> [Acceso 4 de mayo 2015].
- CAPEL SÁEZ, H. 1983. Positivismo y antipositivismo en la ciencia geográfica: el ejemplo de la geomorfología. VIII. [Acceso 12 de abril de 2015].
- CARLETON, A. M. 1999. Methodology in climatology. *Annals of the Association of American Geographers*, 89, 713-735.
- CASTREE, N. 2012. Progressing physical geography. *Progress in Physical Geography*, 36, 298-304.
- CONTRERAS ARIAS, A. 1942. The classification of climates. *Monthly Weather Review*, 70, 249-253.
- CREUS NOVAU, J. 1975. Los estudios climáticos desde el campo de la geografía.
- CROSBIE, R., POLLOCK, D., MPELASOKA, F., BARRON, O., CHARLES, S. & DONN, M. 2012. Changes in Köppen-Geiger climate types under a future climate for Australia: hydrological implications. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 3341-3349.
- CUADRAT PRATS, J. M. & PÉREZ-CUEVA, A. 2007. Climatología regional. *En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 157-162.

- CUADRAT PRATS, J. M. & VICENTE SERRANO, S. M. 2008. Características espaciales del clima en La Rioja modelizadas a partir de sistemas de información geográfica y técnicas de regresión espacial. *Zubía*, 119-141.
- CHEN, D. & CHEN, H. W. 2013. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, 6, 69-79.
- CHORLEY, R. J. & HAGGETT, P. 1970. *Frontiers in geographical teaching*, London, Methuen
- DAMBUL, R. & JONES, P. 2008. Regional and temporal climatic classification for Borneo. *Geografia*, 5, 1-25.
- DAS, R. 2014. Modern trends of mathematical application in geographical thoughts and its environment–increasing relevance in geo-scientific study. *International Journal of Science and Research*, 3, 903-908.
- DAVIES, W. K. D. 1972. *Conceptual revolution in geography*, Londres, University of London Press Ltd, 416.
- DE CASTRO, M., GALLARDO, C., JYLHA, K. & TUOMENVIRTA, H. 2007. The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models. *Climatic Change*, 81, 329-341.
- DE SÁ JÚNIOR, A., DE CARVALHO, L., DA SILVA, F. & DE CARVALHO ALVES, M. 2012. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 1-7.
- DIAZ, H. F. & EISCHEID, J. K. 2007. Disappearing “alpine tundra” Köppen climatic type in the western United States. *Geophysical Research Letters*, 34.
- DIKSHIT, R. D. 2006. *Geographical thought: a contextual history of ideas*, Prentice-Hall of India.
- DUMOLARD, P. 1975. Région et régionalisation. Une approche systémique. *Espace géographique*, 93-111.
- DUQUE, J. C., RAMOS, R. & SURINACH, J. 2007. Supervised regionalization methods: A survey. *International Regional Science Review*, 30, 195-220.
- ENGELBRECHT, C. & ENGELBRECHT, F. 2015. Shifts in Köppen-Geiger climate zones over southern Africa in relation to key global temperature goals. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-15.
- FEDDEMA, J. J. 2005. A revised Thornthwaite-type global climate classification. *Physical Geography*, 26, 442-466.
- FENG, S., HO, C.-H., HU, Q., OGLESBY, R., JEONG, S.-J. & KIM, B.-M. 2012. Evaluating observed and projected future climate changes for the Arctic using the Köppen-Trewartha climate classification. *Climate Dynamics*, 38, 1359-1373.
- FERNÁNDEZ MILLS, G. 1995. Principal component analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 50, 169-183.
- FERNÁNDEZ MILLS, G., LANA, X. & SERRA, C. 1994. Catalanian precipitation patterns: Principal component analysis and automated regionalization. *Theoretical and Applied Climatology*, 49, 201-212.
- FRAEDRICH, K., GERSTENGARBE, F. W. & WERNER, P. C. 2001. Climate shifts during the last century. *Climatic Change*, 50, 405-417.
- FREEBAIRN, J. W. & ZILLMAN, J. W. 2002. Economic benefits of meteorological services. *Meteorological Applications*, 9, 33-44.

- GALÁN GALLEGO, E. 1997. Técnicas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica en la Climatología española: estado de la cuestión y ejemplos de aplicación. *Lurralde inves. esp.*, 20, 135-168
- GALÁN GALLEGO, E. & FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Propuesta de una regionalización pluviométrica de la Meseta meridional. Actas del IV Coloquio de Geografía Cuantitativa, 1990 Palma de Mallorca,. AGE y UIB.
- GALLARDO, C., GIL, V., HAGEL, E., TEJEDA, C. & DE CASTRO, M. 2013. Assessment of climate change in Europe from an ensemble of regional climate models by the use of Köppen–Trewartha classification. *International Journal of Climatology*, 33, 2157-2166.
- GAO, X. & GIORGI, F. 2008. Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. *Global and Planetary Change*, 62, 195-209.
- GENG, Q., WU, P., ZHAO, X. & WANG, Y. 2014. Comparison of classification methods for the divisions of wet/dry climate regions in Northwest China. *International Journal of Climatology*, 34, 2163-2174.
- GERSTENGARBE, F. W. & WERNER, P. C. 2009. A short update on Koeppen climate shifts in Europe between 1901 and 2003. *Climatic Change*, 92, 99-107.
- GERSTENGARBE, F. W., WERNER, P. C. & FRAEDRICH, K. 1999. Applying Non-Hierarchical Cluster Analysis Algorithms to Climate Classification: Some Problems and their Solution. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 143-150.
- GIL OLCINA, A. 2007. Prólogo En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Pressas Universitarias de Zaragoza 7-12.
- GILMOUR, J. S. & WALTERS, S. M. 1964. Philosophy and classification. *Vistas in botany*, 4.
- GIORGI, F. 2008. Regionalization of climate change information for impact assessment and adaptation. *Bulletin of the World Meteorological Organization*, 57, 86-92.
- GÓMEZ MENDOZA, J., MUÑOZ JIMÉNEZ, J. & ORTEGA CANTERO, N. 1982. *El pensamiento geográfico. Estudio interpretativo y antología de textos.(De Humboldt a las tendencias radicales)*, Madrid, Alianza.
- GOTTSCHALK, L. 1985. Hydrological regionalization of Sweden. *Hydrological Sciences Journal*, 30, 65-83.
- GREGORY, K. J., GURNELL, A. M. & PETTS, G. E. 2002. Restructuring physical geography. *Transactions of the institute of british geographers*, 27, 136-154.
- GREGORY, S. 1976. On geographical myths and statistical fables. *Transactions of the institute of british geographers*, 1, 385-400.
- GREGORY, S. 1975. On the delimitation of regional patterns of recent climatic fluctuations. *Weather*, 30, 276-287.
- GRIGG, D. 1965. The Logic of Regional Systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 55, 465-491.
- GRUNDSTEIN, A. 2008. Assessing climate change in the contiguous United States using a modified Thornthwaite climate classification scheme. *The Professional Geographer*, 60, 398-412.

- HADDAD, K., JOHNSON, F., RAHMAN, A., GREEN, J. & KUCZERA, G. 2015. Comparing three methods to form regions for design rainfall statistics: two case studies in Australia. *Journal of Hydrology*.
- HANF, F., KÖRPER, J., SPANGHEHL, T. & CUBASCH, U. 2012. Shifts of climate zones in multi-model climate change experiments using the Köppen climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 111-123.
- HEY, T., TANSLEY, S. & TOLLE, K. 2009. *The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery*, Redmond Washington, Microsoft Research
- HEYMANN, M. 2010. The evolution of climate ideas and knowledge. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1, 581-597.
- HULME, M. 2008. Geographical work at the boundaries of climate change. *Transactions of the institute of british geographers*, 33, 5-11.
- HULME, M., DESSAI, S., LORENZONI, I. & NELSON, D. R. 2009. Unstable climates: Exploring the statistical and social constructions of 'normal' climate. *Geoforum*, 40, 197-206.
- ILORME, F. & GRIFFIS, V. W. 2013. A novel procedure for delineation of hydrologically homogeneous regions and the classification of ungauged sites for design flood estimation. *Journal of Hydrology*, 492, 151-162.
- ISIK, S. & SINGH, V. 2008. Hydrologic Regionalization of Watersheds in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13, 824-834.
- JAGANNATHAN, P., ARLERY, R., TEN KATE, H. & M, Z. 1967. Nota sobre normales climatológicas. En: MUNDIAL, O. M. (ed.) *Nota Técnica*. Ginebra, Organización Meteorológica Mundial.
- JOHNSTON, R. J. 1968. Choice in Classification: The Subjectivity of Objective Methods. *Annals of the Association of American Geographers*, 58, 575-589.
- JOHNSTON, R. J. 1970. Grouping and Regionalizing: Some Methodological and Technical Observations. *Economic Geography*, 46, 293-305.
- JONES, S. B. 1950. What does geography need from climatology? *The Professional Geographer*, 2, 41-44.
- KARL, T. R. & TRENBERTH, K. E. 2003. Modern global climate change. *science*, 302, 1719-1723.
- KEYLOCK, C. J. 2003. Mark Melton's geomorphology and geography's quantitative revolution. *Transactions of the institute of british geographers*, 28, 142-157.
- KEYLOCK, C. J. & DORLING, D. 2004. What kind of quantitative methods for what kind of geography? *Area*, 36, 358-366.
- KHLEBNIKOVA, E. I. *Methods of Climate Classification* [Online]. Paris: Eolss Publishers [<http://www.eolss.net>]. Disponible: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c01/E4-03-05-01.pdf> [Acceso 12 de abril 2015].
- KITCHIN, R. 2013. Big data and human geography: Opportunities, challenges and risks. *Dialogues in Human Geography*, 3, 262-267.
- KITCHIN, R. 2014. *Big Data, new epistemologies and paradigm shifts*.
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B. & RUBEL, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263.
- KUPFER, J. A., GAO, P. & GUO, D. 2012. Regionalization of forest pattern metrics for the continental United States using contiguity constrained clustering and partitioning. *Ecological Informatics*, 9, 11-18.



- LEIGHLY, J. 1949. Climatology since the year 1800. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 30, 658-672.
- LEIGHLY, J. 1955. What has happened to physical geography? *Annals of the Association of American Geographers*, 45, 309-317.
- LIMA, C. H. R. & LALL, U. 2010. Spatial scaling in a changing climate: A hierarchical bayesian model for non-stationary multi-site annual maximum and monthly streamflow. *Journal of Hydrology*, 383, 307-318.
- LOVELAND, T. R. & MERCHANT, J. M. 2004. Ecoregions and Ecoregionalization: Geographical and Ecological Perspectives. *Environmental Management*, 34, S1-S13.
- MAHONY, M. 2013. Boundary spaces: Science, politics and the epistemic geographies of climate change in Copenhagen, 2009. *Geoforum*, 49, 29-39.
- MALMSTRÖM, V. H. 1969. A new approach to the classification of climate. *Journal of Geography*, 68, 351-357.
- MARTIN DE AGAR, P., DE PABLO, C. & PINEDA, F. 1995. Mapping the ecological structure of a territory: a case study in Madrid (central Spain). *Environmental Management*, 19, 345-357.
- MARTÍN VIDE, F. J. La Geografía cuantitativa española en el fin del milenio: Referentes, realidades y perspectivas. En: JUSTICIA, A. C., ed. Perfiles actuales de la Geografía Cuantitativa en España, 1994 Málaga. Grupo de Métodos Cuantitativos de la Asociación de Geógrafos Españoles.
- MATHER, J. R., FIELD, R. T., KALKSTEIN, L. S. & WILLMOTT, C. J. 1980. Climatology: The challenge for the eighties. *The Professional Geographer*, 32, 285-292.
- MATTSON, K. 1978. Una introducción a la geografía radical. *Geocrítica. Cuadernos críticos de Geografía Humana* [Online], III. Disponible: <http://www.ub.edu/geocrit/geo13.htm#1>.
- MCBOYLE, G. R. 1971. Climatic classification of Australia by computer. *Australian Geographical Studies*, 9, 1-14.
- MCDONALD, J. R. 1966. The Region: Its conception, design, and limitations. *Annals of the Association of American Geographers*, 56, 516-528.
- MONSERUD, R. A. & LEEMANS, R. 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*, 62, 275-293.
- MONTES, C., BORJA, F., BRAVO, M. A. & MOREIRA, J. M. 1998. *Doñana: Una Aproximación Ecosistémica* [Online]. Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/clasificacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/clasificacion.pdf) [Acceso 5 de julio 2015].
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- NAIMAN, R. J., LONZARICH, D. G., BEECHIE, T. J. & RALPH, S. C. 1992. General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers. En: BOON, P. J. & RAVEN, P. J. (eds.) *River conservation and management*. John Wiley & Sons, 93-123.
- OFFEN, K. 2014. Historical geography III: Climate matters. *Progress in Human Geography*, 38, 476-489.



- OLCINA CANTOS, J. 1996. El clima: factor de diferenciación espacial. Divisiones regionales del mundo desde la antigüedad al S. XVIII. *Investigaciones geográficas*, 15, 79-98.
- OLIVER, J. E. 2006a. Climate classification. En: OLIVER, J. E. (ed.) *Encyclopedia of World Climatology*. Springer Netherlands, 218-227.
- OLIVER, J. E. 2006b. *Encyclopedia of World Climatology*, Berlin, Springer Netherlands.
- ORTEGA VALCÁRCEL, J. 2000. Los horizontes de la geografía: teoría de la geografía. *Barcelona: Ariel*.
- PAGNEY, P. 1982. *Introducción a la Climatología*, Barcelona, Oikos-Tau.
- PANAGOS, P., BALLABIO, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., KLIK, A., ROUSSEVA, S., TADIĆ, M. P., MICHAELIDES, S., HRABALÍKOVÁ, M., OLSEN, P., AALTO, J., LAKATOS, M., RYMSZEWICZ, A., DUMITRESCU, A., BEGUERÍA, S. & ALEWELL, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment*, 511, 801-814.
- PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L. & MCMAHON, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 4, 439 - 473.
- PERIAGO, M. C., LANA, X., SERRA, C. & FERNÁNDEZ MILLS, G. 1991. Precipitation regionalization: an application using a meteorological network in Catalonia (NE Spain). *International Journal of Climatology*, 11, 529-543.
- PERRY, A. H. 1995. New climatologists for a new climatology. *Progress in Physical Geography*, 19, 280-285.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2007. Horizontes y retos de la ciencia climática. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 553-560.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2006. La climatología como ciencia geográfica. En: CUADRAT PRATS, J. M. & PITA LÓPEZ, M. F. (eds.) *Climatología*. Madrid, Cátedra, 9-17.
- PITA LÓPEZ, M. F. 1984. La preocupación medioambiental y su incidencia en el desarrollo de la climatología. En: MOPU (ed.) *Geografía y medio ambiente*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 45-70.
- RAHIMI, J., EBRAHIMPOUR, M. & KHALILI, A. 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 112, 409-418.
- RASILLA ALVAREZ, D. F. 1994. Los regímenes de precipitación en el norte de la Península Ibérica. *Estudios Geográficos*, 55, 151-181.
- RHOADS, B. L. 2004. Whither Physical Geography? *Annals of the Association of American Geographers*, 94, 748-755.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A. H., NIETO, S. & GARMENDIA, J. 1998. Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18, 299-316.
- ROHLI, R. V. & VEGA, A. J. 2013. *Climatology*, Jones & Bartlett Publishers.
- ROMERO, R. & RAMIS, C. 1999. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: An objective classification. *International Journal of Climatology*, 18, 1031-1047.
- RUBEL, F. & KOTTEK, M. 2010. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19, 135-141.

- SÁNCHEZ SANTILLÁN, N. & GARDUNO, R. 2008. Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. *ContactoS*, 68, 5-10.
- SANTOS, M. 2000. *La naturaleza del espacio. Técnica y Tiempo. Razón y Emoción.*, Barcelona, Ariel.
- SAXON, E., BAKER, B., HARGROVE, W., HOFFMAN, F. & ZGANJAR, C. 2005. Mapping environments at risk under different global climate change scenarios. *Ecology Letters*, 8, 53-60.
- SEWELL, W. R. D., KATES, R. W. & PHILLIPS, L. E. 1968. Human response to weather and climate: geographical contributions. *Geographical Review*, 58, 262-280.
- SHAOHONG, W., QINYE, Y. & DU, Z. 2003. Delineation of eco-geographic regional system of China. *Journal of Geographical Sciences*, 13, 309-315.
- SHEPPARD, E. 2001. Quantitative geography: representations, practices, and possibilities. *Environment and Planning D*, 19, 535-554.
- SIMON, A. L. 1992. The problem of pattern and scale in Ecology: The Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 73, 1943-1967.
- SKAGGS, R. H. 2004. Climatology in american Geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 94, 446-457.
- SOKAL, R. R. & SNEATH, P. H. 1963. *Principles of numeric taxonomy*, San Francisco, W.H. Freeman.
- SPENCE, N. A. & TAYLOR, P. J. 1970. Quantitative methods in regional taxonomy. *Progress in Geography*.1-64.
- SPINONI, J., VOGT, J., NAUMANN, G., CARRAO, H. & BARBOSA, P. 2014. Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the Köppen–Geiger classification and FAO aridity index. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a.
- STALLINS, T. 2015. *Biogeography and conservation* [Online]. KENTUCKY: UNIVERSITY OF KENTUCKY. Disponible: <http://www.uky.edu/~jast239/courses/biogeo/bioschedule.html> [Acceso 3 de julio 2015].
- STEINER, D. 1965. Multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification. *Tijdschrift van het Aardrijkskundig Genootschap*, 329-347.
- TADAKI, M., SALMOND, J. & LE HERON, R. 2014. Applied climatology: Doing the relational work of climate. *Progress in Physical Geography*, 0309133313517625.
- TADAKI, M., SALMOND, J., LE HERON, R. & BRIERLEY, G. 2012. Nature, culture, and the work of physical geography. *Transactions of the institute of british geographers*, 37, 547-562.
- TERJUNG, W. H. 1976. Climatology for geographers. *Annals of the Association of American Geographers*, 66, 199-222.
- TREWARTHA, G. & HORN, L. 1980. Köppen's classification of climates. *An Introduction to climate*. New York, McGraw-Hill.
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante.
- TRICART, J. 1979. L'analyse de système et l'étude intégrée du milieu naturel. *Annales de Géographie*, 705-714.
- TURNER, M. G., GARDNER, R. H. & O'NEILL, R. V. 2001. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*, Springer Science & Business Media.
- UNWIN, T. 1992. *El lugar de la Geografía* Madrid, Cátedra.

- UZAIR QAMAR, M. 2015. *Parametric and non-parametric approaches for runoff and rainfall regionalization*. Engineering for Natural and Built Environment, Politecnico di Torino.
- VAN VLIET, M. T. H., FRANSSEN, W. H. P., YEARSLEY, J. R., LUDWIG, F., HADDELAND, I., LETTENMAIER, D. P. & KABAT, P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*, 23, 450-464.
- WANG, M. & OVERLAND, J. 2004. Detecting arctic climate change using Köppen climate classification. *Climatic Change*, 67, 43-62.
- WILLIAMS, L. 1961. Climatology and geographers. *The Professional Geographer*, 13, 11-15.
- WILLMOTT, C. J. 1978. P-mode principal components analysis, grouping and precipitation regions in California. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 26, 277-295.
- WRCC. *California Climate Tracker* [Online]. Western Regional Climate Center. Disponible: <http://www.wrcc.dri.edu/monitor/cal-mon/> [Acceso 6 de junio 2015].
- YOSHINO, M. M. 1975. *Climate in a small area. An introduction to local meteorology*, Tokyo, University of Tokyo Press, 549.
- ZHANG, X. & YAN, X. 2014a. Spatiotemporal change in geographical distribution of global climate types in the context of climate warming. *Climate Dynamics*, 43, 595-605.
- ZHANG, X. & YAN, X. 2014b. Temporal change of climate zones in China in the context of climate warming. *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 167-175.
- ZOBLER, L. 1958. Decision Making in Regional Construction. *Annals of the Association of American Geographers*, 48, 140-148.
- ZSCHEISCHLER, J., MAHECHA, M. D. & HARMELING, S. 2012. Climate classifications: the value of unsupervised clustering. *Procedia Computer Science*, 9, 897-906.

#### **11.4. CAPÍTULO 4**

- ABBOT, J. & MAROHASY, J. 2015. Improving monthly rainfall forecasts using artificial neural networks and single-month optimisation: a case study of the Brisbane catchment, Queensland, Australia. *Water Resources Management VIII*, 196, 3.
- AL-ANAZI, A. F. & GATES, I. D. 2010. Support vector regression for porosity prediction in a heterogeneous reservoir: A comparative study. *Computers and Geosciences*, 36, 1494-1503.
- AMBÜHL, J., CATTANI, D. & ECKERT, P. 1997. Classification of meteorological patterns. *En: GERSTNER, W., GERMOND, A., HASLER, M. & NICLOUD, J.-D. (eds.) Artificial Neural Networks — ICANN'97*. Springer Berlin Heidelberg, 1119-1124.
- ANDRÉS, M., TOMÁS, C. & DE PABLO, F. 2000. Spatial patterns of the daily non-convective rainfall in Castilla y León (Spain). *International Journal of Climatology*, 20, 1207-1224.

- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- ASONG, Z. E., KHALIQ, M. N. & WHEATER, H. S. 2015. Regionalization of precipitation characteristics in the Canadian Prairie Provinces using large-scale atmospheric covariates and geophysical attributes. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 875-892.
- AVANTRA GEOSYSTEMS. 2006. *MI-SDM (MapInfo Spatial Data Modeller) v2.51* [Online]. Disponible: <http://www.avantra.com.au/mi-sdm.htm> 2013].
- AYOADE, J. O. 1976. On the use of multivariate techniques in climatic classification and regionalization. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 24, 257-267.
- BADR, H. S., ZAITCHIK, B. F. & DEZFULI, A. K. 2015. A tool for hierarchical climate regionalization. *Earth Science Informatics*, 1-10.
- BATER, C. W. & COOPS, N. C. 2009. Evaluating error associated with lidar-derived DEM interpolation. *Computers and Geosciences*, 35, 289-300.
- BLASCO, B. J. & DONAIRE, J. J. S. Pautas espaciales en la variabilidad de las precipitaciones españolas. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 2007.
- BOOKER, D. J. & SNELDER, T. H. 2012. Comparing methods for estimating flow duration curves at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 434-435, 78-94.
- BREIMAN, L. 1984. *Classification and regression trees*, Chapman & Hall/CRC.
- BREIMAN, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.
- BREIMAN, L., FRIEDMAN, J., STONE, C. J. & OLSHEN, R. A. 1984. *Classification and Regression Trees*, Belmont, CA, Chapman and Hall/CRC.
- COMRIE, A. C. & GLENN, E. C. 1998. Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability. *Climate Research*, 10, 201-215.
- CONTRERAS ARIAS, A. 1942. The classification of climates. *Monthly Weather Review*, 70, 249-253.
- CORTES, C. & VAPNIK, V. 1995. Support-Vector Networks. *Machine Learning*, 20, 273-297.
- CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) 2007. *La Climatología española. Pasado, presente y futuro* Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza
- CUADRAT PRATS, J. M. & PÉREZ-CUEVA, A. 2007. Climatología regional. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 157-162.

- CHAN, J. C.-W. & PAELINCKX, D. 2008. Evaluation of Random Forest and Adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2999-3011.
- CHEN, S. K., JANG, C. S. & PENG, Y. H. 2013. Developing a probability-based model of aquifer vulnerability in an agricultural region. *Journal of Hydrology*, 486, 494-504.
- CHRISTOPH, M., K., P. E., PATRICK, H. & HERBERT, F. 2003. Comparative analysis of spatial and seasonal variability: Austrian precipitation during the 20th century. *International Journal of Climatology*, 23, 1577-1588.
- DAMBUL, R. & JONES, P. 2008. Regional and temporal climatic classification for Borneo. *Geografia*, 5, 1-25.
- DAVIS, J. B. & ROBINSON, G. R. 2012. A geographic model to assess and limit cumulative ecological degradation from marcellus shale exploitation in New York, USA. *Ecology and Society*, 17.
- DE LUÍS, M., RAVENTÓS, J., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., SÁNCHEZ, J. R. & CORTINA, J. 2000. Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain). *International Journal of Climatology*, 20, 1451-1469.
- DEGAETANO, A. T. 2001. Spatial grouping of United States climate stations using a hybrid clustering approach. *International Journal of Climatology*, 21, 791-807.
- DEMŠAR, U., HARRIS, P., BRUNSDON, C., FOTHERINGHAM, A. S. & MCLOONE, S. 2013. Principal component analysis on spatial data: An overview. *Annals of the Association of American Geographers*, 103, 106-128.
- DEZFULI, A. 2011. Spatio-temporal variability of seasonal rainfall in western equatorial Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, 57-69.
- DOUGHERTY, G. 2013. *Pattern recognition and classification: An introduction*, New York, Springer Science & Business Media, 196.
- ESTEBAN- PARRA, M. J., RODRIGO, F. S. & CASTRO-DIEZ, Y. 1998. Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology*, 18, 1557-1574.
- ESTEBAN, P., MARTIN-VIDE, J. & MASES, M. 2006. Daily atmospheric circulation catalogue for western Europe using multivariate techniques. *International Journal of Climatology*, 26, 1501-1515.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. & GALÁN GALLEGU, E. 1993. Las precipitaciones en el valle del Tiétar. Aspectos metodológicos. En: URV (ed.) *Aportaciones en homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa*. Tarragona, Universidad Rovira i Virgili. Unidad de Geografía, 75-90.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. & GALÁN GALLEGU, E. 1990. Propuesta de una regionalización pluviométrica de la Meseta Meridional. En: AGE, G. D. M. C. D. L. (ed.) *Los sistemas de información geográficos y la toma de decisiones territoriales*. Palma de Mallorca, Asociación de Geógrafos Españoles, 311-334.

- FERNÁNDEZ MILLS, G. 1995. Principal component analysis of precipitation and rainfall regionalization in Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 50, 169-183.
- FERNÁNDEZ MILLS, G., LANA, X. & SERRA, C. 1994. Catalanian precipitation patterns: Principal component analysis and automated regionalization. *Theoretical and Applied Climatology*, 49, 201-212.
- FOMENTO, M. D. 1999. *Máximas luvias diarias en España Peninsular*, Madrid, Ministerio de Fomento. Disponible: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/ABE22688-F967-4902-BA96-51FE8AB76145/55856/0610300.pdf>.
- FONT TULLOT, I. 2000. *Climatología de España y Portugal*, Ediciones Universidad de Salamanca.
- FOVELL, R. G. & FOVELL, M.-Y. C. 1993. Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis. *Journal of Climate*, 6, 2103-2135.
- GALÁN GALLEGO, E. El análisis discriminante: una propuesta válida para la renovación del método sinóptico. En: (AGE), G. D. M. C., ed. Los sistemas de información geográficos y la toma de decisiones territoriales, 1990 Palma de Mallorca. Asociación de Geógrafos Españoles.
- GALÁN GALLEGO, E. 1997. Técnicas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica en la Climatología española: estado de la cuestión y ejemplos de aplicación. *Lurralde inves. esp.*, 20, 135-168
- GALÁN GALLEGO, E. & FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Propuesta de una regionalización pluviométrica de la Meseta meridional. Actas del IV Coloquio de Geografía Cuantitativa, 1990 Palma de Mallorca, AGE y UIB.
- GARCÍA-MARÍN, A. P., AYUSO-MUÑOZ, J. L., TAGUAS-RUIZ, E. V. & ESTEVEZ, J. 2011. Regional analysis of the annual maximum daily rainfall in the province of Malaga (southern Spain) using the principal component analysis. *Water and Environment Journal*, 25, 522-531.
- GHIMIRE, B., ROGAN, J., GALIANO, V., PANDAY, P. & NEETI, N. 2012. An evaluation of bagging, boosting, and random forests for land-cover classification in Cape Cod, Massachusetts, USA. *GIScience and Remote Sensing*, 49, 623-643.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).
- GONG, X. & RICHMAN, M. B. 1995. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. *Journal of Climate*, 8, 897-931.

- GONZÁLEZ HIDALGO, J. C., DE LUÍS, M., RAVENTÓS, J. & SÁNCHEZ, J. R. 2001. Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 21, 843-860.
- GRIGG, D. 1965. The Logic of Regional Systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 55, 465-491.
- GUIRGUIS, K. J. & AVISSAR, R. 2008. A precipitation climatology and dataset intercomparison for the western United States. *Journal of Hydrometeorology*, 9, 825-841.
- GÜNNEMANN, S., KREMER, H., LAUFKÖTTER, C. & SEIDL, T. 2012. Tracing evolving subspace clusters in temporal climate data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 24, 387-410.
- HALKIDI, M., BATISTAKIS, Y. & VAZIRGIANNIS, M. 2001. On clustering validation techniques. *Journal of Intelligent Information Systems*, 17, 107-145.
- HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2004. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management*, 34, S39-S60.
- HERRERA, M., TORGO, L., IZQUIERDO, J. & PÉREZ-GARCÍA, R. 2010. Predictive models for forecasting hourly urban water demand. *Journal of Hydrology*, 387, 141-150.
- HOFFMAN, F. M., HARGROVE, W. W., ERICKSON, D. J. & OGLESBY, R. J. 2005. Using clustered climate regimes to analyze and compare predictions from fully coupled General Circulation Models. *Earth Interactions*, 9, 1-27.
- JIMÉNEZ, P. A., GARCÍA-BUSTAMANTE, E., GONZÁLEZ-ROUCO, J. F., VALERO, F., MONTÁVEZ, J. P. & NAVARRO, J. 2008. Surface wind regionalization in complex terrain. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 308-325.
- JOHNSTON, R. J. 1968. Choice in Classification: The Subjectivity of Objective Methods. *Annals of the Association of American Geographers*, 58, 575-589.
- JOLLIFFE, I. T. & PHILIPP, A. 2010. Some recent developments in cluster analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35, 309-315.
- KEMP, L. D., BONHAM-CARTER, G. F. & RAINES, G. L. 1999. *Arc-WofE: Arcview extension for weights of evidence mapping* [Online]. Disponible: <http://www.ige.unicamp.br/wofe> 2013].
- KISI, O. & SANIKHANI, H. 2015. Prediction of long-term monthly precipitation using several soft computing methods without climatic data. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a.
- LANA, X., MARTÍNEZ, M. D., SERRA, C. & BURGUEÑO, A. 2004. Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime in Catalonia (northeastern Spain), 1950-2000. *International Journal of Climatology*, 24, 613-641.
- LATT, Z., WITTENBERG, H. & URBAN, B. 2015. Clustering hydrological homogeneous regions and neural network based index flood estimation for ungauged



- catchments: an example of the Chindwin River in Myanmar. *Water Resources Management*, 29, 913-928.
- LIMONES RODRÍGUEZ, N. 2013. *El estudio de la Sequía Hidrológica en el Mediterráneo Español. Propuesta de aplicación del índice estandarizado de Sequía Pluviométrica a las aportaciones Hídricas*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- LIU, X., WANG, S., ZHOU, Y., WANG, F., LI, W. & LIU, W. 2015. Regionalization and spatiotemporal variation of drought in China based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (1961-2013). *Advances in Meteorology*, 2015, 18.
- LUND, R. & LI, B. 2009. Revisiting climate region definitions via clustering. *Journal of Climate*, 22, 1787-1800.
- LYRA, G., ZANETTI, S., SANTOS, A., DE SOUZA, J., LYRA, G., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. & LEMES, M. 2015. Estimation of monthly global solar irradiation using the Hargreaves-Samani model and an artificial neural network for the state of Alagoas in northeastern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14.
- MAROHASY, J. & ABBOT, J. 2015. Assessing the quality of eight different maximum temperature time series as inputs when using artificial neural networks to forecast monthly rainfall at Cape Otway, Australia. *Atmospheric Research*, 166, 141-149.
- MARTIN-VIDE, J. & GOMEZ, L. 1999. Regionalization of Peninsular Spain based on the length of dry spells. *International Journal of Climatology*, 19, 537-555.
- MARTÍN VIDE, F. J. & OLCINA CANTOS, J. 2001. Climas y tiempos de España.
- MARTÍN VIDE, J. 2004. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24, 959-971.
- MARTÍNEZ, M. D., LANA, X., BURGUEÑO, A. & SERRA, C. 2007. Spatial and temporal daily rainfall regime in Catalonia (NE Spain) derived from four precipitation indices, years 1950–2000. *International Journal of Climatology*, 27, 123-138.
- MAS, J. F. & FLORES, J. J. 2007. The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 617-663.
- MCBOYLE, G. 1972. Factor analytic approach to a climatic classification of Europe. *Climatol. Bull*, 12, 1-11.
- MCBOYLE, G. R. 1971. Climatic classification of Australia by computer. *Australian Geographical Studies*, 9, 1-14.
- MICHAELIDES, S. C., PATTICHIS, C. S. & KLEVOULOU, G. 2001. Classification of rainfall variability by using artificial neural networks. *International Journal of Climatology*, 21, 1401-1414.
- MISHRA, A. K. & COULIBALY, P. 2009. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*, 47, n/a-n/a.



- MONTES, C., BORJA, F., BRAVO, M. A. & MOREIRA, J. M. 1998. *Doñana: Una Aproximación Ecosistémica* [Online]. Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/clasificacion.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/clasificacion.pdf) [Acceso 5 de julio 2015].
- MORENO, F. & ROLDIN, J. 1999. Regionalization of daily precipitation stochastic model parameters. Application to the Guadalquivir valley in Southern Spain. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24, 65-71.
- MORENO GARCÍA, M. D. C. 1986. Distribución espacial de los valores probables anuales y mensuales de la precipitación en la cuenca granadina del río Genil. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 14, 57-83.
- MOUNTRAKIS, G., IM, J. & OGOLE, C. 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 247-259.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2002. Aplicación del análisis *cluster* para el estudio de la relación NAO-precipitaciones de invierno en el sur de la Península Ibérica. En: GUIJARRO PASTOR, J. A., GRIMALT GELABERT, M., LAITA RUIZ DE ASÚA, M. & ALONSO OROZA, S. (eds.) *El agua y el clima*. Palma de Mallorca, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 283-292.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- NASSERI, M., TAVAKOL-DAVANI, H. & ZAHRAIE, B. 2013. Performance assessment of different data mining methods in statistical downscaling of daily precipitation. *Journal of Hydrology*, 492, 1-14.
- OLCINA CANTOS, J. 2009. Cambio climático y riesgos climáticos en España.
- PARDO GONZÁLEZ-NADÍN, M. 1993. *Determinación de áreas climáticas en el espacio peninsular español mediante análisis multivariado según precipitación, humedad relativa y exposición solar*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- PARDO, M. 2010. *Clustering* [Online]. Disponible: <http://lectures.molgen.mpg.de/algsysbio10/clustering.pdf>.
- PEÑA, D. 2002. *Análisis de datos multivariantes*, McGraw-Hill Madrid.
- PEÑARROCHA, D., ESTRELA, M. J. & MILLÁN, 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.
- PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.

- PERIAGO, M. C., LANA, X., SERRA, C. & MILLS, G. F. 1991. Precipitation regionalization: An application using a meteorological network in Catalonia (NE Spain). *International Journal of Climatology*, 11, 529-543.
- PREISENDORFER, R. W. & MOBLEY, C. D. 1988. *Principal component analysis in meteorology and oceanography*, Amsterdam, Elsevier
- RAMACHANDRA RAO, A. & SRINIVAS, V. V. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, 318, 37-56.
- RAMIS, C., ROMERO, R., ALONSO, S., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999. Distribución espacial y temporal de la precipitación diaria en la zona mediterránea española. En: RASO, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Barcelona, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).
- RAMOS CALZADO, P. 2003. *Análisis de las precipitaciones en Andalucía occidental a escala comarcal*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General Técnica. Instituto Nacional de Meteorología.
- RAMOS, M. C. 2001. Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 57, 123-138.
- RASILLA ALVAREZ, D. F. 1994. Los regímenes de precipitación en el norte de la Península Ibérica. *Estudios Geográficos*, 55, 151-181.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. F. 1994. Aplicación de un método de análisis climático a la estimación de las precipitaciones y su régimen en la Cuenca del Duero. *Serie Geográfica*, 4, 57-80.
- RICHMAN, M. B. 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climatology*, 6, 293-335.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V. 2011. *Metodología basada en teledetección, SIG y geoestadística para cartografía y análisis de cambios en las cubiertas del suelo de la provincia de Granada*. Tesis doctoral, Universidad de Granada.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V., SANCHEZ-CASTILLO, M., CHICA-OLMO, M. & CHICA-RIVAS, M. 2015. Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geology Reviews*, 71, 804-818.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V. F. & CHICA-RIVAS, M. 2012. Evaluation of different machine learning methods for land cover mapping of a Mediterranean area using multi-seasonal Landsat images and Digital Terrain Models. *International Journal of Digital Earth*, 7, 492-509.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V. F., GHIMIRE, B., ROGAN, J., CHICA-OLMO, M. & RIGOL-SÁNCHEZ, J. P. 2012. An assessment of the effectiveness of a Random Forest Classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104.

- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. & BRUNET, M. 2007. Variabilidad y cambio climático. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 283-330.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A. H., NIETO, S. & GARMENDIA, J. 1998. Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18, 299-316.
- RODRÍGUEZ GUTIÁN, M. A. & RAMIL REGO, P. 2007. Clasificaciones climáticas aplicadas a Galicia: revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Recursos Rurais*, 1, 31-53.
- ROMERO, R., ALONSO, S., HOMAR, V. & RAMIS, C. Regionalización climática de las Islas Baleares como soporte al diseño de redes de observación. Disponible: [http://www.uib.es/depart/dfs/meteorologia/ROMU/informal/10th\\_elemet\\_09/regionalizacion\\_Baleares\\_proceedings.pdf](http://www.uib.es/depart/dfs/meteorologia/ROMU/informal/10th_elemet_09/regionalizacion_Baleares_proceedings.pdf). [Acceso 26 de febrero de 2014].
- ROMERO, R., GUIJARRO, J. A., RAMIS, C. & ALONSO, S. 1998. A 30-year (1964–1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study. *International Journal of Climatology*, 18, 541-560.
- ROMERO, R. & RAMIS, C. 1999. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: An objective classification. *International Journal of Climatology*, 18, 1031-1047.
- ROMERO, R., RAMIS, C. & GUIJARRO, J. A. 1999a. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification. *International Journal of Climatology*, 19, 95-112.
- ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999b. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.
- RUMELHART, D. E., HINTON, G. E. & WILLIAMS, R. J. 1986. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 533-536.
- SAMPEDRO SÁNCHEZ, D. & DEL MORAL ITUARTE, L. 2014. Tres décadas de política de aguas en Andalucía. Análisis de procesos y perspectiva territorial. 53. Disponible: <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/1448/2476>.
- SANZ DONAIRE, J. J. & JIMÉNEZ BLASCO, B. C. Pautas espaciales en la variabilidad de las precipitaciones españolas. Anales de geografía de la Universidad Complutense, 2006. Servicio de Publicaciones.
- SAWATZKY, D. L., RAINES, G. L., BONHAM-CARTER, G. F. & LOONEY, C. G. 2010. *Spatial Data Modeller (SDM)* [Online]. Disponible: <http://www.ige.unicamp.br/sdm/ArcSDM10/source/ReadMe.pdf> 2013].
- SAWATZKY, D. L., RAINES, G. L., BONHAM-CARTER, G. F. & LOONEY, C. G. 2009. *Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural*

- networks [Online]. Disponible: <http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=15341> 2013].
- ŞENKAL, O. 2015. Solar radiation and precipitable water modeling for Turkey using artificial neural networks. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 127, 481-488.
- SERRA, C., FERNÁNDEZ MILLS, G., LANA, X. & PERIAGO, M. Regionalización pluviométrica de Cataluña a partir de valores medios mensuales de precipitación. *Anales de Física*, 1991.
- SPENCE, N. A. & TAYLOR, P. J. 1970. Quantitative methods in regional taxonomy. *Progress in Geography*.1-64.
- STEINER, D. 1965. Multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification. *Tijdschrift van het Aardrijkskundig Genootschap*, 329-347.
- SUMNER, G., RAMIS, C. & GUIJARRO, J. A. 1993. The spatial organization of daily rainfall over Mallorca, Spain. *International Journal of Climatology*, 13, 89-109.
- TERCEK, M. T., GRAY, S. T. & NICHOLSON, C. M. 2012. Climate zone delineation: evaluating approaches for use in natural resource management. *Environmental Management*, 49, 1076-1091.
- TEZEL, G. & BUYUKYILDIZ, M. 2015. Monthly evaporation forecasting using artificial neural networks and support vector machines. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-12.
- UNAL, Y., KINDAP, T. & KARACA, M. 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International Journal of Climatology*, 23, 1045-1055.
- VENEGAS, S. A. 2001. Statistical methods for signal detection in climate. Copenhagen, Danish Center for Earth System Science.
- VICENTE-SERRANO, S. M., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., DE LUIS, M. & RAVENTÓS, J. 2004. Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain). *Climate Research*, 26, 5-15.
- VINCENZI, S., ZUCCHETTA, M., FRANZOI, P., PELLIZZATO, M., PRANOVI, F., DE LEO, G. A. & TORRICELLI, P. 2011. Application of a Random Forest algorithm to predict spatial distribution of the potential yield of *Ruditapes philippinarum* in the Venice lagoon, Italy. *Ecological Modelling*, 222, 1471-1478.
- VON STORCH, H. & NAVARRA, A. 1999. *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*, Springer.
- VON STORCH, H. & ZWIERS, F. W. 1999. *Statistical analysis in climate research*, Cambridge, Cambridge University Press. Disponible: <http://www.leif.org/EOS/vonSt0521012309.pdf> [Acceso 19 de agosto de 2015].
- WADI ABBAS AL-FATLAWI, A., RAHIM, N. A., SAIDUR, R. & WARD, T. A. 2015. Improving solar energy prediction in complex topography using artificial neural networks: Case study Peninsular Malaysia. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, n/a-n/a.

- WANG, X., SMITH, K. & HYNDMAN, R. 2006. Characteristic-based clustering for time series data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 13, 335-364.
- WANG, X. L., WASKE, B. & BENEDIKTSSON, J. A. 2009. Ensemble Methods for Spectral-Spatial Classification of Urban Hyperspectral Data. *2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vols 1-5*, 3324-3327.
- WASKE, B. & BRAUN, M. 2009. Classifier ensembles for land cover mapping using multitemporal SAR imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 450-457.
- WHITE, D., RICHMAN, M. & YARNAL, B. 1991. Climate regionalization and rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, 11, 1-25.
- WILKS, D. S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Oxford, Academic Press Elsevier.
- YANG, T., ZHOU, X., YU, Z., KRYSANOVA, V. & WANG, B. 2015. Drought projection based on a hybrid drought index using Artificial Neural Networks. *Hydrological Processes*, 29, 2635-2648.
- ZHAO, C., LIU, C., XIA, J., ZHANG, Y., YU, Q. & EAMUS, D. 2012. Recognition of key regions for restoration of phytoplankton communities in the Huai River basin, China. *Journal of Hydrology*, 420-421, 292-300.
- ZIMMERMANN, A., FRANCKE, T. & ELSENBEER, H. 2012. Forests and erosion: Insights from a study of suspended-sediment dynamics in an overland flow-prone rainforest catchment. *Journal of Hydrology*, 428-429, 170-181.

### 11.5. CAPÍTULO 5

- OMM 2011. Observaciones, estaciones y redes climáticas. En: MUNDIAL, O. M. (ed.) *Guía de prácticas climatológicas*. tercera edición ed, Ginebra, Organización meteorológica Mundial.
- ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible:  
<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinachangingclimateSp.pdf> [Acceso 16 de marzo 2013].
- OMM 2011. Observaciones, estaciones y redes climáticas. En: MUNDIAL, O. M. (ed.) *Guía de prácticas climatológicas*. tercera edición ed, Ginebra, Organización meteorológica Mundial.
- ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible:

<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinachangingclimateSp.pdf> [Acceso 16 de marzo 2013].

## 11.6. CAPÍTULO 6

- AGUILAR-ALBA, M. 2007. Cambios y tendencias recientes en las precipitaciones de Andalucía. En: SOUSA, A., GARCÍA-BARRÓN, L. Y JURADO, V. (ed.) *El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medio ambientales*. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía.
- AGUILAR-ALBA, M. & DEL MORAL ITUARTE, L. 2010. Tendencias climáticas recientes y evolución de las aportaciones en embalses de cabecera del Guadalquivir: su incidencia en la planificación hidrológica. En: F. FERNÁNDEZ GARCÍA, E. G. G. Y. R. C. T. E. (ed.) *Clima, ciudad y ecosistemas* Madrid, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Ediciones del Serbal, Barcelona.
- ALCARAZ ARIZA, F. J. 2013. *Geobotánica. Ordenación y clasificación* [Online]. Murcia: Universidad de Murcia. Disponible: <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema12.pdf> [Acceso 15 de agosto 2015].
- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- BADR, H. S., ZAITCHIK, B. F. & DEZFULI, A. K. 2015. A tool for hierarchical climate regionalization. *Earth Science Informatics*, 1-10.
- BAKER, B., DIAZ, H., HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2010. Use of the Köppen-Trewartha climate classification to evaluate climatic refugia in statistically derived ecoregions for the People's Republic of China. *Climatic Change*, 98, 113-131.
- BETTOLLI, M. L., RIVERA, J. A. & PENALBA, O. C. 2010. Regionalización de los días secos en Argentina: Un enfoque metodológico. *Meteorologica*, 35, 67-80.
- CASTRO DÍEZ, A. Y. 2007. Cambios climáticos observados en la temperatura y la precipitación en Andalucía en el contexto de la Península Ibérica y hemisférico En: SOUSA, A., GARCÍA-BARRÓN, L. Y JURADO, V. (ed.) *El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medio ambientales*. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía.
- CATTELL, R. B. 1966. The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245-276.
- COMRIE, A. C. & GLENN, E. C. 1998. Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability. *Climate Research*, 10, 201-215.
- DE MORSIER, F., TUIA, D., BORGEAUD, M., GASS, V. & THIRAN, J.-P. 2015. Cluster validity measure and merging system for hierarchical clustering considering outliers. *Pattern Recognition*, 48, 1478-1489.

- DEGAETANO, A. T. 1996. Delineation of mesoscale climate zones in the Northeastern United States using a novel approach to cluster analysis. *Journal of Climate*, 9, 1765-1782.
- DEGAETANO, A. T. 2001. Spatial grouping of United States climate stations using a hybrid clustering approach. *International Journal of Climatology*, 21, 791-807.
- EASTERLING, D. R. 1989. Regionalization of thunderstorm rainfall in the contiguous United States. *International Journal of Climatology*, 9, 567-579.
- ERTÖZ, L., STEINBACH, M. & KUMAR, V. Finding clusters of different sizes, shapes, and densities in noisy, high dimensional data. *En: SIAM, ed. Proceedings of the 2003 SIAM International Conference on Data Mining, 2003. Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM).*
- EVERITT, B. S., LANDAU, S., LEESE, M. & STAHL, D. 2011a. *Cluster analysis*, John Wiley & Sons, Ltd.
- EVERITT, B. S., LANDAU, S., LEESE, M. & STAHL, D. 2011b. Hierarchical clustering. *Cluster Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, 71-110.
- FARSADNIA, F., ROSTAMI KAMROOD, M., MOGHADDAM NIA, A., MODARRES, R., BRAY, M. T., HAN, D. & SADATINEJAD, J. 2014. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. *Journal of Hydrology*, 509, 387-397.
- FERNÁNDEZ-MONTES, S. & RODRIGO, F. 2015. Trends in surface air temperatures, precipitation and combined indices in the southeastern Iberian Peninsula (1970-2007). *Climate Research*, 63, 43-60.
- FOVELL, R. G. 1997. Consensus clustering of U.S. temperature and precipitation data. *Journal of Climate*, 10, 1405-1427.
- FOVELL, R. G. & FOVELL, M.-Y. C. 1993. Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis. *Journal of Climate*, 6, 2103-2135.
- GALLARDO, C. 2014. *Ampliación de análisis de datos multivariantes. Capítulo 2* [Online]. Granada: Universidad de Granada. Disponible: <http://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-2.pdf> [Acceso 2 de septiembre 2015].
- GARCÍA, D. 2008. El concepto de escala y su importancia en el análisis espacial. *En: MAESTRE, F., ESCUDERO, A. Y BONET, A. (ed.) Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales*. Madrid, Universidad Rey Juan Carlos Servicio de Publicaciones, 35-73.
- GONG, X. & RICHMAN, M. B. 1995. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. *Journal of Climate*, 8, 897-931.
- GONZALEZ-HIDALGO, J. C., LOPEZ-BUSTINS, J.-A., ŠTEPÁNEK, P., MARTIN-VIDE, J. & DE LUIS, M. 2009. Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000). *International Journal of Climatology*, 29, 1415-1429.
- GÜNNEMANN, S., KREMER, H., LAUFKÖTTER, C. & SEIDL, T. 2012. Tracing evolving subspace clusters in temporal climate data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 24, 387-410.
- GUO, D. 2008. Regionalization with dynamically constrained agglomerative clustering and partitioning (REDCAP). *International Journal of Geographical Information Science*, 22, 801-823.



- HADDAD, K., JOHNSON, F., RAHMAN, A., GREEN, J. & KUCZERA, G. 2015. Comparing three methods to form regions for design rainfall statistics: two case studies in Australia. *Journal of Hydrology*.
- HALKIDI, M., BATISTAKIS, Y. & VAZIRGIANNIS, M. 2002. Cluster validity methods: part I. *SIGMOD Rec.*, 31, 40-45.
- HALKIDI, M., BATISTAKIS, Y. & VAZIRGIANNIS, M. 2001. On clustering validation techniques. *Journal of Intelligent Information Systems*, 17, 107-145.
- HÄRDLE, W. & SIMAR, L. 2004. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Berlin, Springer. Disponible: [http://sfb649.wiwi.hu-berlin.de/fedc\\_homepage/xplore/ebooks/html/](http://sfb649.wiwi.hu-berlin.de/fedc_homepage/xplore/ebooks/html/).
- HARGROVE, W. & HOFFMAN, F. 2004. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management*, 34, S39-S60.
- HARGROVE, W. W. & HOFFMAN, F. M. 1999. Using multivariate clustering to characterize ecoregion borders. *Computing in Science & Engineering*, 1, 18-25.
- HAYLOCK, M. R., HOFSTRA, N., KLEIN TANK, A. M. G., KLOK, E. J., JONES, P. D. & NEW, M. 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, n/a-n/a.
- HENNIG, C. 2007. Cluster-wise assessment of cluster stability. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52, 258-271.
- IRIONDO, J. M., TORRES, E. & ESCUDERO, A. 2008. Modelos para analizar variables continuas y categóricas: correlogramas y estadísticos "join count". En: MAESTRE, F., ESCUDERO, A. Y BONET, A. (ed.) *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales*. Madrid, Universidad Rey Juan Carlos Servicio de Publicaciones, 183-213.
- IRWIN, S. E. 2015. *Assessment of the regionalization of precipitation in two Canadian climate regions: A fuzzy clustering approach*. Master of Engineering Science Electronic Thesis and Dissertation Repository, The University of Western Ontario.
- JACCARD, P. 1901. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura. *Bull Soc Vandoise Sci Nat*, 37, 547-579.
- JAIN, A. K. & MOREAU, J. V. 1987. Bootstrap technique in cluster analysis. *Pattern Recognition*, 20, 547-568.
- JAIN, A. K., MURTY, M. N. & FLYNN, P. J. 1999. Data clustering: a review. *ACM Comput. Surv.*, 31, 264-323.
- JAYAWARDENE, H. K. W. I. & JAYEWARDENE, D. U. J. S. D. R. 2005. Spatial interpolation of weekly rainfall depth in the dry zone of Sri Lanka. *Climate Research*, 29, 223-231.
- JUSTEL, A. 2010. *Técnicas de análisis multivariante para agrupación* [Online]. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/ajustel/docencia/ad/AD10\\_11\\_Cluster.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/ajustel/docencia/ad/AD10_11_Cluster.pdf) [Acceso 31 de agosto 2015].
- KALKSTEIN, L. S., TAN, G. & SKINDLOV, J. A. 1987. An Evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 717-730.



- LANA, X. & BURGUEÑO, A. 2000. Some statistical characteristics of monthly and annual pluviometric irregularity for the Spanish Mediterranean Coast. *Theoretical and Applied Climatology*, 65, 79-97.
- LANZANTE, J. 1996. Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. *International Journal of Climatology*, 16, 1197-1226.
- LEGENDRE, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, 74, 1659-1673.
- LEGENDRE, P. & FORTIN, M. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80, 107-138.
- LÓPEZ, A. M. *Análisis de Conglomerados* [Online]. Universidad de Sevilla. Disponible: <http://personal.us.es/analopez/ac.pdf> [Acceso 2 de septiembre 2015].
- LUND, R. & LI, B. 2009. Revisiting climate region definitions via clustering. *Journal of Climate*, 22, 1787-1800.
- MAESTRE, F. T. & ESCUDERO, A. 2008. Introducción. En: MAESTRE, F. T., ESCUDERO, A. Y BONET, A. (ed.) *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales*. Madrid, Universidad Rey Juan Carlos Servicio de Publicaciones, 1-33.
- MAHÍA, R. *Informática aplicada al análisis económico* [Online]. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible: [https://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/rmc/documentos/cluster.PDF](https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/rmc/documentos/cluster.PDF) [Acceso 31 de agosto 2015].
- MAMOON, A. A., JOERGENSEN, N. E., RAHMAN, A. & QASEM, H. 2014. Derivation of new design rainfall in Qatar using L-moment based index frequency approach. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3, 111-118.
- MARTÍNEZ ARIAS, R. 1999. *El análisis multivariante en la investigación científica* Arco Libros.
- MILLIGAN, G. 1996. Clustering validation: results and implications for applied analyses. En: ARABLE, P., HUBERT, L. J. Y DE SOETE, G. (ed.) *Clustering and Classification*. River Edge, N.J, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 341-376.
- MILLIGAN, G. & COOPER, M. 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*, 50, 159-179.
- MIMMACK, G. M., MASON, S. J. & GALPIN, J. S. 2001. Choice of distance matrices in cluster analysis: defining regions. *Journal of Climate*, 14, 2790-2797.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- PARDO, M. 2010. *Clustering* [Online]. Disponible: <http://lectures.molgen.mpg.de/algsysbio10/clustering.pdf>.
- PEÑA, D. 2002. *Análisis de datos multivariantes*, McGraw-Hill Madrid.
- PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.
- PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR ALBA, M., MEGIAS CASAS, M., CAMARILLO NARANJO, J. M., CORZO TOSCANO, M. & RODRIGUEZ DÍAZ, V. 1999. Diseño de una metodología de espacialización de variables climáticas. Estructuración de bases

- de datos de clima y obtención de indicadores ambientales. *En: SEVILLA, U. D. (ed.) Investigación y desarrollo medioambiental en Andalucía (1995-1998)*. Sevilla, Universidad de Sevilla, 87-94.
- RAMACHANDRA RAO, A. & SRINIVAS, V. V. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*, 318, 37-56.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. 2000. Fuentes y métodos para la caracterización de ambientes meteorológicos. *En: MARTÍ EZPELETA, A. (ed.) Clima y calidad ambiental*. Santiago de Compostela, Asociación de Geógrafos Españoles, 174-191.
- RHEE, J., IM, J., CARBONE, G. J. & JENSEN, J. R. 2008. Delineation of climate regions using in-situ and remotely-sensed data for the Carolinas. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3099-3111.
- ROMERO, R., RAMIS, C. & GUIJARRO, J. A. 1999a. Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification. *International Journal of Climatology*, 19, 95-112.
- ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999b. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.
- RUIZ SINOGA, J. D., GARCIA MARIN, R., MARTINEZ MURILLO, J. F. & GABARRON GALEOTE, M. A. 2011. Precipitation dynamics in southern Spain: trends and cycles. *International Journal of Climatology*, 31, 2281-2289.
- SATYANARAYANA, P. & SRINIVAS, V. V. 2008. Regional frequency analysis of precipitation using large-scale atmospheric variables. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, D24110.
- SATYANARAYANA, P. & SRINIVAS, V. V. 2011. Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables – A fuzzy clustering approach. *Journal of Hydrology*, 405, 462-473.
- SAXON, E., BAKER, B., HARGROVE, W., HOFFMAN, F. & ZGANJAR, C. 2005. Mapping environments at risk under different global climate change scenarios. *Ecology Letters*, 8, 53-60.
- SERRA, C., FERNÁNDEZ MILLS, G., PERIAGO, M. C. & LANA, X. 1996. Winter and autumn daily precipitation patterns in Catalonia, Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 54, 175-186.
- UNAL, Y., KINDAP, T. & KARACA, M. 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International Journal of Climatology*, 23, 1045-1055.
- VARELA MALLOU, J., RIAL BOUBETA, A. & PICÓN PRADO, E. 2015. *Análisis Multivariante* [Online]. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela. Disponible: [http://www.usc.es/export/sites/default/gl/investigacion/grupos/psicom/docencia/grado/analisis/Teoria/Tema\\_7.pdf](http://www.usc.es/export/sites/default/gl/investigacion/grupos/psicom/docencia/grado/analisis/Teoria/Tema_7.pdf) [Acceso 19 de septiembre 2015].
- VILLARÍN CLAVERÍA, M. C. 2015. *Factores explicativos del consumo doméstico de agua. Estudio de microescala en el municipio de Sevilla*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- WANG, X., SMITH, K. & HYNDMAN, R. 2006. Characteristic-based clustering for time series data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 13, 335-364.
- WARREN LIAO, T. 2005. Clustering of time series data—a survey. *Pattern Recognition*, 38, 1857-1874.

YEH, H. Y., WENSEL, L. C. & TURNBLOM, E. C. 2000. An objective approach for classifying precipitation patterns to study climatic effects on tree growth. *Forest Ecology and Management*, 139, 41-50.

### 11.7. CAPÍTULO 7

ADLER, R. F., HUFFMAN, G. J., CHANG, A., FERRARO, R., XIE, P.-P., JANOWIAK, J., RUDOLF, B., SCHNEIDER, U., CURTIS, S., BOLVIN, D., GRUBER, A., SUSSKIND, J., ARKIN, P. & NELKIN, E. 2003. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present). *Journal of Hydrometeorology*, 4, 1147-1167.

ÁLVAREZ, V. R., SANCHEZ-LORENZO, A. & MARÍN, R. G. 2014. Creación de una base de datos confiseries largas de precipitación en la Región de Murcia y análisis temporal de la serie media anual, 1914-2013. *Revista de Climatología*, 14.

ANDUAGA EGAÑA, A. 2012. *Meteorología, ideología y sociedad en la España contemporánea*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Agencia Estatal de Meteorología.

AUER, I., BÖHM, R., JURKOVIĆ, A., ORLIK, A., POTZMANN, R., SCHÖNER, W., UNGERSBÖCK, M., BRUNETTI, M., NANNI, T., MAUGERI, M., BRIFFA, K., JONES, P., EFTHYMIADIS, D., MESTRE, O., MOISSELIN, J.-M., BEGERT, M., BRAZDIL, R., BOCHNICEK, O., CEGNAR, T., GAJIĆ-ČAPKA, M., ZANINOVIĆ, K., MAJSTOROVIĆ, Ž., SZALAI, S., SZENTIMREY, T. & MERCALLI, L. 2005. A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800–2002. *International Journal of Climatology*, 25, 139-166.

BADILLO VALLE, V. 2013. Los aprovechamientos forestales en las Sierras de Cazorla, Segura y las Villas. *RuralCazorla.org*.

BARCIELA, C., GIRÁLDEZ, J., RURAL, G. D. E. D. H. & LÓPEZ, I. 2005. Sector agrario y pesca. En: (COORD.), A. C. Y. X. T. (ed.) *Estadísticas históricas en España. Siglos XIX-XX*. Segunda Edición ed, Bilbao, Fundación BBVA.

BRIONES, F. 1946. El pantano de Tranco de Beas. *Revista de Obras Públicas* [Online], 1. Disponible:  
[http://ropdigital.ciccp.es/detalle\\_articulo.php?registro=16406&anio=1946&numero\\_revista=2773](http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=16406&anio=1946&numero_revista=2773).

- CARRERAS, A. & TAFUNELL, X. 2005. *Estadísticas históricas en España* Bilbao, Fundación BBVA. Disponible: <http://www.fbbva.es/TLFU/dat/autores.pdf> [Acceso 28 de julio 2015].
- CHG. *Historia* [Online]. Confederación Hidrográfica del Gualaquivir. Disponible: <https://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/elOrganismo/historia/>.
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015a. Red de estaciones agrometeorológicas de Andalucía. Servicio de información agroclimática. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/estadisticas/agrarias/servicio-de-informacion-agroclimatica/red-de-estaciones-agrometeorologicas-de-andalucia.html> [Acceso 13 septiembre, 2015].
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015b. ¿Qué es la RAIF? Red de Alerta e Información Fitosanitaria. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/raif/que\\_es\\_raif/](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/raif/que_es_raif/) [Acceso 17 septiembre, 2015].
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015c. Consulta avanzada de datos climáticos. Datos climáticos. Disponible en: <https://ws142.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/fit/clima/datos.horarios.do> [Acceso 18 septiembre, 2015].
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO RURAL, 2015d. Mapa de estaciones. Datos climáticos. Disponible en: <https://ws142.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/fit/clima/inicio.do> [Acceso 18 septiembre, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. Junta de Andalucía, 2015a. Subsistema CLIMA. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/> [Acceso 22 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015b. ¿Qué es la Rediam? Red de Información Ambiental de Andalucía. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.aedc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=c9587d087270f210VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang\\_es](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.aedc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=c9587d087270f210VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang_es) [Acceso 22 agosto, 2015].

- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015c. Subsistema CLIMA. El clima, subsistema de Información de Climatología Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente. Introducción. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_introduccion.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_introduccion.jsp) [Acceso 22 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015d. Subsistema CLIMA: Consulta de datos. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/menu\\_consultas.jsp?b=s](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/menu_consultas.jsp?b=s) [Acceso 22 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015e. Conozca el CLIMA. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_menu\\_sistema.jsp?b=s](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_menu_sistema.jsp?b=s) [Acceso 23 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015f. Redes integradas en el CLIMA. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_redes\\_integradas.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_redes_integradas.jsp) [Acceso 23 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015g. Red de estaciones meteorológicas en Andalucía. Subsistema de información de climatología ambiental. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima\\_red\\_sistemas.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/clima_red_sistemas.jsp) [Acceso 25 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015h. Datos básicos 2014. Medio Ambiente en Andalucía. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/rediam/productos/Publicaciones/datos\\_basicos\\_2014/datosbasicos2014html/index.html#4](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/productos/Publicaciones/datos_basicos_2014/datosbasicos2014html/index.html#4) [Acceso 25 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015i. Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía. La calidad del aire en Andalucía. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=a6a92e62ea1a3210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=9638282747fcc310VgnVCM2000000624e50aRCRD> [Acceso 26 agosto, 2015].

- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015j. Configuración de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía, 2015. Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambientales/atmosfera/calidad\\_aire/RVCCAA\\_2015.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/atmosfera/calidad_aire/RVCCAA_2015.pdf) [Acceso 26 agosto, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015k. Red del Espacio Natural Protegido de Sierra Nevada. Consulta de datos meteorológicos del sistema. Disponible en:  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redEspecifico.jsp?c\\_red=ENPSN](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redEspecifico.jsp?c_red=ENPSN) [Acceso 18 septiembre, 2015].
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 2015l. Información de las distintas redes del sistema. Consulta de datos meteorológicos del sistema. Disponible en :  
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/sica/redes/redes.jsp> [Acceso 19 septiembre, 2015].
- COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA, 2007. Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, BOJA no 143 del 20/07/2007; BOE 09/08/2007, páginas 34118 a 34169. Disponible en:  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-15158](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-15158)
- DEL MORAL ITUARTE, L. 1991. *La obra hidráulica en la Cuenca Baja del Guadalquivir, siglos XVIII-XX: gestión del agua y organización del territorio*. Tesis, Universidad de Sevilla.
- DEL MORAL ITUARTE, L. Política hidráulica y desequilibrios territoriales en España: historia y perspectivas. Agua, territorio y paisaje: de los instrumentos programados a la planificación aplicada: V Congreso Internacional de Ordenación del Territorio, 2009. Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio FUNDICOT.
- DÍAZ, Á. A. V. & RIVERA, J. F. O. 2005. Paisajes coloniales en el Bajo Guadalquivir. Origen, evolución y carácter patrimonial. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*.
- DOÑANA, I. R. *Clima y Meteorología* [Online]. La Estación Biológica de Doñana (EBD). CSIC. Disponible: <http://www.ebd.csic.es/web/icts-rbd-donnana/clima-y-meteorologia> [Acceso 24 de septiembre 2015].

- DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA, 2009. El Programa S.A.I.H: Descripción y Funcionalidad. El presente y futuro del sistema. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/SAIH\\_WEB\\_MMA\\_V301109\\_tcm7-28827.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/SAIH_WEB_MMA_V301109_tcm7-28827.pdf) [Acceso 19 septiembre, 2015].
- ESTESO VICTORIO, J.E. (Coordinador), 2003. Capítulo 3. Clima e información meteorológica. En Plan Infoca. Un plan de acción al servicio del monte mediterráneo andaluz. Sevilla, pp. 48–63. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Patrimonio\\_Natural.\\_Uso\\_Y\\_Gestion/Montes/Incendios\\_Forestales/plan\\_infoca/Cap03\\_clima\\_informacion\\_meteorologica.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural._Uso_Y_Gestion/Montes/Incendios_Forestales/plan_infoca/Cap03_clima_informacion_meteorologica.pdf) [Acceso 26 agosto, 2015].
- EUROPA PRESS, 2014. El Gobierno fija por ley la autoridad única estatal de la Aemet frente a otros servicios meteorológicos. El Mundo. Disponible: <http://www.elmundo.es/espana/2014/02/12/52fba73e22601d5e228b457c.html> [Acceso 17 agosto, 2015].
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. & GIMÉNEZ DE LA CUADRA, J. M. 1985. *Notas para la historia de la meteorología en España*, Madrid, Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones.
- GIL OLCINA, A. & OLCINA CANTOS, J. 1997. Climatología general. *Ariel, Barcelona*, 19.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., BRUNETTI, M. & DE LUIS, M. 2011. A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005). *International Journal of Climatology*, 31, 715-731.
- GONZÁLEZ QUIJANO, P. M. 1946. *Mapa pluviométrico de España*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Juan Sebastián Elcano, 574.
- IECA. *Atlas de la historia del territorio de Andalucía* [Online]. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Consejería de Economía y Conocimiento. Disponible: [http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/atlasterritorio/at/atlas\\_presenta.html](http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/atlasterritorio/at/atlas_presenta.html) [Acceso 1 de agosto 2015].
- IGLESIAS CAMPOS, A. 2003. *Gibraltar (1813-2000). Dinámica climática. Las series más largas de observación climatológicas en el sur de la Península Ibérica*. Trabajo Fin de Carrera (inédito), Universidad de Sevilla.

- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, 2015a. Red de Información Agroclimática de Andalucía. IFAPA. Servicios. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web/ifapa/servicios/regagroclimatica> [Acceso 13 septiembre, 2015].
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, 2015b. Estaciones agroclimáticas. Estaciones agroclimáticas. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController> [Acceso 17 agosto, 2015].
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, 2015c. ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS. Estaciones agroclimáticas. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController> [Acceso 17 agosto, 2015].
- LÓPEZ GÓMEZ, A. 2001. Mapas pluviométricos de España hasta mediados del siglo XX. *En: GIL OLCINA, A. & MORALES GIL, A. (eds.) Causas y consecuencias de las sequías en España*. Alicante, Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, 15-47.
- NADAL, F. & URTEAGA, L. 1990. *Cartografía y Estado: los mapas topográficos nacionales y la estadística territorial en el siglo XIX* [Online]. Barcelona: Universidad de Barcelona. Disponible: <http://www.ub.es/geocrit/geo88.htm> [Acceso 23 de febrero 2005].
- NAREDO, J. M. 2006. La encrucijada de la gestión del agua en España. *En: CUADRAT PRATS, J. M. (ed.) El agua en el siglo XXI: gestión y planificación* Zaragoza., Institución Fernando El Católico. Excma. Diputación de Zaragoza.
- NEBEKER, F. 1995. *Calculating the weather. Meteorology in the 20th century*, San Diego, Academic Press, 255.
- NEW, M., TODD, M., HULME, M. & JONES, P. 2001. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, 21, 1889-1922.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015a. SIAR: Sistema de información agroclimática para el regadío. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Disponible en: <http://eportal.magrama.gob.es/websiar/Inicio.aspx> [Acceso 17 agosto, 2015].



- MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015b. Sistema Automático de Información Hidrológica. SAIH. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/saih/> [Acceso 19 septiembre, 2015].
- MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015c. Programa de Seguimiento del Cambio Global. Red de Parques Nacionales. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/> [Acceso 20 septiembre, 2015].
- MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2015d. Consulta de datos - Red de Seguimiento del Cambio Global. Red de Parques Nacionales. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/datos-seguimiento.aspx> [Acceso 20 septiembre, 2015].
- METEOCLIMATIC, 2015. Meteo climatic. Disponible en: <http://www.meteoclimatic.net/index/pg.1.36.html> [Acceso 20 septiembre, 2015].
- ORTEGA CANTERO, N. 1984. Las propuestas hidráulicas del reformismo republicano: del fomento del regadío a la articulación del Plan Nacional de Obras Hidráulicas. *Agricultura y sociedad*, 109-152.
- PALOMARES, M. 2012. AEMET a lo largo de su historia. En: AEMET (ed.) *Día Meteorológico Mundial de 2012 (125 aniversario del Servicio Meteorológico español)*. Agencia Estatal de Meteorología.
- PÉREZ, F. F., BOSCOLO, R., BLADE, I., CACHO, I., CASTRO-DÍEZ, Y., GOMIS, D., SAMPERIZ, G., MIGUEZ-MACHO, G., RODRÍGUEZ-FONSECA, B. & RODRIGUEZ-PUEBLA, C. 2010. *Clima en España: pasado, presente y futuro*, Ministerio de Ciencia e Innovación. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible: <http://hdl.handle.net/10261/23600>.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2007. Horizontes y retos de la ciencia climática. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 553-560.
- PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR-ALBA, M., CAMARILLO NARANJO, J. M. & CORZO TOSCANO, M. 2002. Control, seguimiento y explotación del banco de datos de información climática y meteorológica de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Puesta en marcha del sistema de información meteorológico ambiental. Sevilla, Universidad de Sevilla. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

- RAMOS GOROSTIZA, J. L. 2001. La formulación de la política hidrológica en el siglo XX: ideas e intereses, actores y procesos políticos. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 126-151.
- RBD. *Estación Manual Palacio de Doñana (EM05)* [Online]. RESERVA BIOLÓGICA DE DOÑANA. Disponible: <http://www-rbd.ebd.csic.es/mediofisico/parametrosmeteorologicos/palaciomanual/em05.htm> [Acceso 10 de junio 2010].
- REDIAM, 2015. Visor del subsistema CLIMA. Disponible en: <http://www.climasig.es/visor.phtml> [Acceso 23 agosto, 2015].
- SALADIÉ, Ò., BRUNET, M., AGUILAR, E., SIGRÓ, J. & LÓPEZ, D. 2007. *Observar la lluvia en Cataluña: 150 años de registros: Creación de la base de datos de precipitación mensual ajustada del sector nororiental de la Península Ibérica (1850-2000)*, Publicacions Universitat Rovira i Virgili.
- SAPIANO, M. R. P., SMITH, T. M. & ARKIN, P. A. 2008. A new merged analysis of precipitation utilizing satellite and reanalysis data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, n/a-n/a.
- TAPIADOR, F. J., TURK, F. J., PETERSEN, W., HOU, A. Y., GARCÍA-ORTEGA, E., MACHADO, L. A. T., ANGELIS, C. F., SALIO, P., KIDD, C., HUFFMAN, G. J. & DE CASTRO, M. 2012. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*, 104–105, 70-97.
- World Meteorological Organization, 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: CIMO guide, Geneve. Disponible en: [https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf).
- XIE, P. & ARKIN, P. A. 1997. Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2539-2558.

## 11.8. CAPÍTULO 8

- ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J. M., GÁMIZ-FORTIS, S. R., ESTEBAN-PARRA, M. J., DUDHIA, J. & CASTRO-DÍEZ, Y. 2011. Evaluation of WRF parameterizations for

- climate studies over Southern Spain using a multistep regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- CAPEL MOLINA, J. J. 1981. *Los climas de España*, Barcelona, Oikos- Tau.
- CAPEL MOLINA, J. J. & ANDUJAR CASTILLO, F. 1978. Mapa pluviométrico de Andalucía. *Paralelo 37*, 2, 197-209.
- ESTEBAN- PARRA, M. J., RODRIGO, F. S. & CASTRO-DIEZ, Y. 1998. Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology*, 18, 1557-1574.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., ALCÁNTARA-MANZANARES, J., OLMEDO-COBO, J. A. & MARTÍNEZ-IBARRA, E. 2015. La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande* [Online], 61. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0718-3402&lng=es&nrm=iso).
- HENNIG, C. 2007. Cluster-wise assessment of cluster stability. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52, 258-271.
- JACCARD, P. 1901. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura. *Bull Soc Vandoise Sci Nat*, 37, 547-579.
- MUÑOZ-DÍAZ, D. & RODRIGO, F. S. 2004. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2003. El clima de Andalucía. *Geografía de Andalucía*. Madrid, Editorial Ariel, 137-173.
- PITA LÓPEZ, M. F., AGUILAR ALBA, M., MEGIAS CASAS, M., CAMARILLO NARANJO, J. M., CORZO TOSCANO, M. & RODRIGUEZ DÍAZ, V. 1999. Diseño de una metodología de espacialización de variables climáticas. Estructuración de bases de datos de clima y obtención de indicadores ambientales. En: SEVILLA, U. D. (ed.) *Investigación y desarrollo medioambiental en Andalucía (1995-1998)*. Sevilla, Universidad de Sevilla, 87-94.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. 2000. Fuentes y métodos para la caracterización de ambientes meteorológicos. En: MARTÍ EZPELETA, A. (ed.) *Clima y calidad ambiental*. Santiago de Compostela, Asociación de Geógrafos Españoles, 174-191.

- ROMERO, R., RAMIS, C., GUIJARRO, J. A. & SUMNER, G. 1999. Daily rainfall affinity areas in Mediterranean Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 557-578.
- SANZ DONAIRE, J. J. & JIMÉNEZ BLASCO, B. C. Pautas espaciales en la variabilidad de las precipitaciones españolas. Anales de geografía de la Universidad Complutense, 2006. Servicio de Publicaciones.
- SIGÜENZA FUENTES, A. 2015. Generación de una cartografía de precipitación en el parque natural sierra norte de Sevilla. Sevilla, Universidad de Sevilla.
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible:  
<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinachangingclimateSp.pdf> [Acceso 16 de marzo 2013].
- VON STORCH, H. & NAVARRA, A. 1999. *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*, Springer.

## 11.9. CAPÍTULO 9

- CMAOT. *Red de Observatorios de Cambio Global de Andalucía* [Online]. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=040c6dcca537310VgnVCM100001325e50aRCRD&vgnnextchannel=88be693aa8465310VgnVCM100001325e50aRCRD> [Acceso 12 de julio 2015].
- DALY, C. 2006. Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International Journal of Climatology*, 26, 707-721.10.1002/joc.1322.
- DERA. 2014. *Dominios territoriales de la Comunidad Autónoma de Andalucía* [Online]. Instituto de Estadística y Cartografía. Junta de Andalucía. Disponible: <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/> [Acceso 3 de septiembre 2015].
- ELLSAESSER, H. W., MACCRACKEN, M. C., WALTON, J. J. & GROTCHE, S. L. 1986. Global climatic trends as revealed by the recorded data. *Reviews of Geophysics*, 24, 745-792.10.1029/RG024i004p00745.
- JOLLIFFE, I. T. & PHILIPP, A. 2010. Some recent developments in cluster analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35, 309-315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2009.07.014>.
- LAZO, J. K. & CHESTNUT, L. G. 2002. Economic value of current and improved weather forecasts in the U.S. household sector. Boulder, Colorado, Report prepared for the National Oceanic and Atmospheric Administration.

- LUNA HUERTA, J. M. 2015. *Análisis de las tendencias registradas en los extremos termo-pluviométricos en Andalucía*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla.
- MEC 2012. *Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica de Innovación 2013-2016*, Gobierno de España. Disponible: [http://wwwsp.inia.es/IDi/Documents/130201\\_plan.pdf](http://wwwsp.inia.es/IDi/Documents/130201_plan.pdf) [Acceso 12 de julio 2015].
- MULLER, C. L., CHAPMAN, L., JOHNSTON, S., KIDD, C., ILLINGWORTH, S., FOODY, G., OVEREEM, A. & LEIGH, R. R. 2015. Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential. *International Journal of Climatology*, 35, 3185-3203.10.1002/joc.4210.
- OAPN 2010. Presentación del Programa de Seguimiento del Cambio Global en la Red de Parques Nacionales. *Red Cambio Global. Boletín de seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales*,
- OMM 2011. *Guía de prácticas climatológicas*, Ginebra, Organización meteorológica Mundial. Disponible: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/guide\\_climat\\_practices.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/guide_climat_practices.php).
- OMM 2010. *Manual del sistema mundial de observación*, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial. Disponible: [http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice\\_display&id=5460#.VbTSqvkeYpA](http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice_display&id=5460#.VbTSqvkeYpA) [Acceso 26 de julio de 2015].
- PERDINAN & WINKLER, J. A. 2015. Selection of climate information for regional climate change assessments using regionalization techniques: an example for the Upper Great Lakes Region, USA. *International Journal of Climatology*, 35, 1027-1040.10.1002/joc.4036.
- PETERSON, T., DAAN, H. & JONES, P. 1997. Initial selection of a GCOS surface network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2145-2152.10.1175/1520-0477(1997)078<2145:isoags>2.0.co;2.
- PITA LÓPEZ, M. F. 2007. Horizontes y retos de la ciencia climática. En: CUADRAT PRATS, J. M. & MARTÍN VIDE, J. (eds.) *La Climatología española. Pasado, presente y futuro*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza 553-560.
- SANTOS, M. 2000. *La naturaleza del espacio. Técnica y Tiempo. Razón y Emoción.*, Barcelona, Ariel.
- ŠTĚPÁNEK, P. 2008. ProClimDB – software for processing climatological datasets. Brno, CHMI regional office. .
- SZENTIMREY, T. Something like an Introduction. Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases, 2003 Budapest, Hungary. World Meteorological Organization.
- TRENBERTH, K. E., KARL, T. R. & SPENCE, T. W. 2002. The need for a systems approach to climate observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1593-1602.10.1175/bams-83-11-1593.
- TREWIN, B. C. 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Disponible: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/TheRoleofclimatologicalnormalsinachangingclimateSp.pdf> [Acceso 16 de marzo 2013].
- WILLMOTT, C. J., ROBESON, S. M. & FEDDEMA, J. J. 1994. Estimating continental and terrestrial precipitation averages from raingauge networks. *International*

- Journal of Climatology*, 14, 403-414.  
<http://dx.doi.org/10.1002/joc.3370140405>.
- WILLMOTT, C. J., ROBESON, S. M. & FEDDEMA, J. J. 1991. Influence of spatially variable instrument networks on climatic averages. *Geophysical Research Letters*, 18, 2249-2251
- WMO 2003. *Guidelines on climate observation networks and systems*, Ginebra, World meteorological Organization. Disponible: [www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52\\_000.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52_000.pdf) [Acceso 26 de julio de 2015].
- WMO. International workshop on network design practices: final report of the workshop, papers presented at the workshop. *En: WMO, ed. International workshop on network design practices (11-15 November 1991; )*, 1991 Koblenz, Alemania. World meteorological Organization.
- WMO 2008. Methods of observation. *The Guide to Hydrological Practices*. Geneva, World Meteorological Organization.

#### 11.10. CAPÍTULO 10

12. BOJINSKI, S., VERSTRAETE, M., PETERSON, T. C., RICHTER, C., SIMMONS, A. & ZEMP, M. 2014. The Concept of Essential Climate Variables in Support of Climate Research, Applications, and Policy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95, 1431-1443.10.1175/bams-d-13-00047.1.
13. WMO 2003. *Guidelines on climate observation networks and systems*, Ginebra, World meteorological Organization. Disponible: [www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52\\_000.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/.../WCDMP-52_000.pdf) [Acceso 26 de julio de 2015].

**ANEXOS**

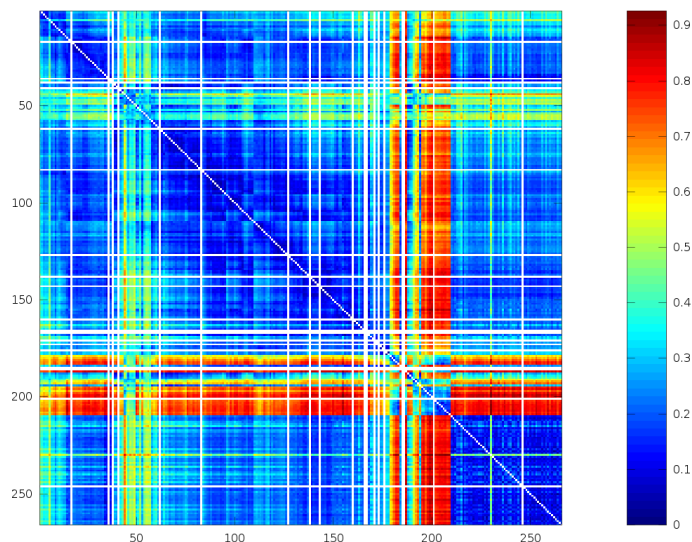
## ANEXO 1. RESULTADOS COMPLETOS DEL ANÁLISIS EXPLORATORIO SOBRE LOS DATOS DE ENTRADA

### 1º PRUEBA. Periodo Temporal 1951-2008

**Datos:** Se cuenta con datos mensuales de precipitación de **262** estaciones. Las series temporales son variables y van desde Enero de **1951 hasta Diciembre 2008**.

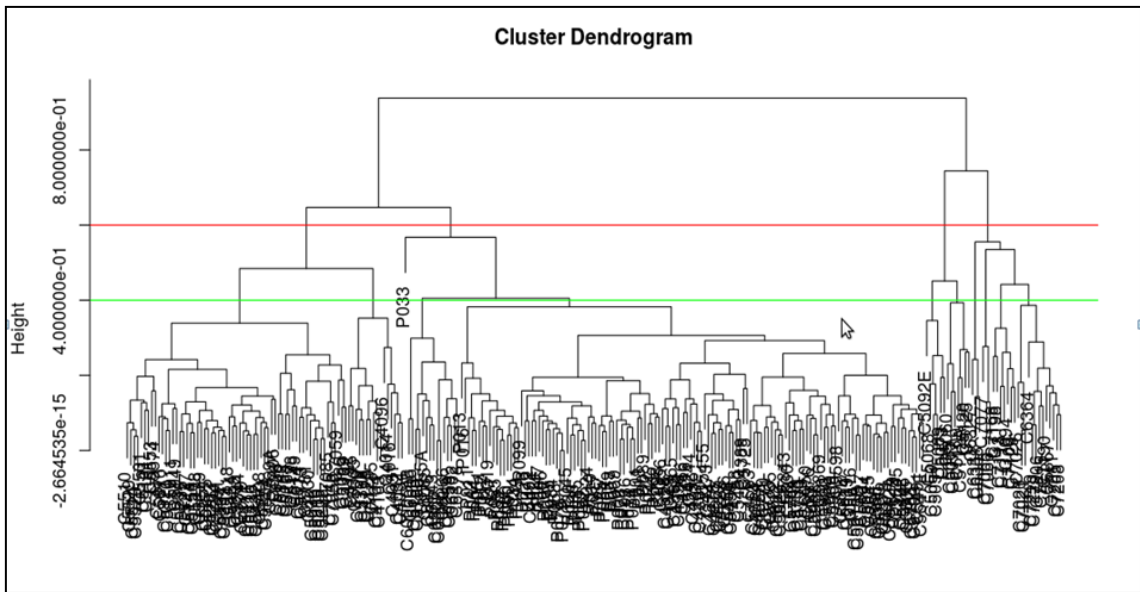
**Método:** Se utiliza análisis *cluster* jerárquico para agrupar las estaciones en función de la “distancia” (similitud/diferencias) de sus series temporales utilizando como medida de asociación entre cada par de estaciones calculamos la correlación entre ellas. Para ello se han eliminado en cada caso los pares de datos donde alguna de las series temporales tienen NA's. Esta correlación tiene un valor comprendido entre -1 y 1, siendo su valor absoluto mayor cuanto más se parezcan ambas series temporales (la correlación entre dos series temporales iguales será de 1). La distancia se ha calculado como 1 menos el valor absoluto del coeficiente de correlación, de tal modo que cuanto mayor sea la correlación menor será la distancia.

La matriz de distancias obtenida con este método ha sido la siguiente:

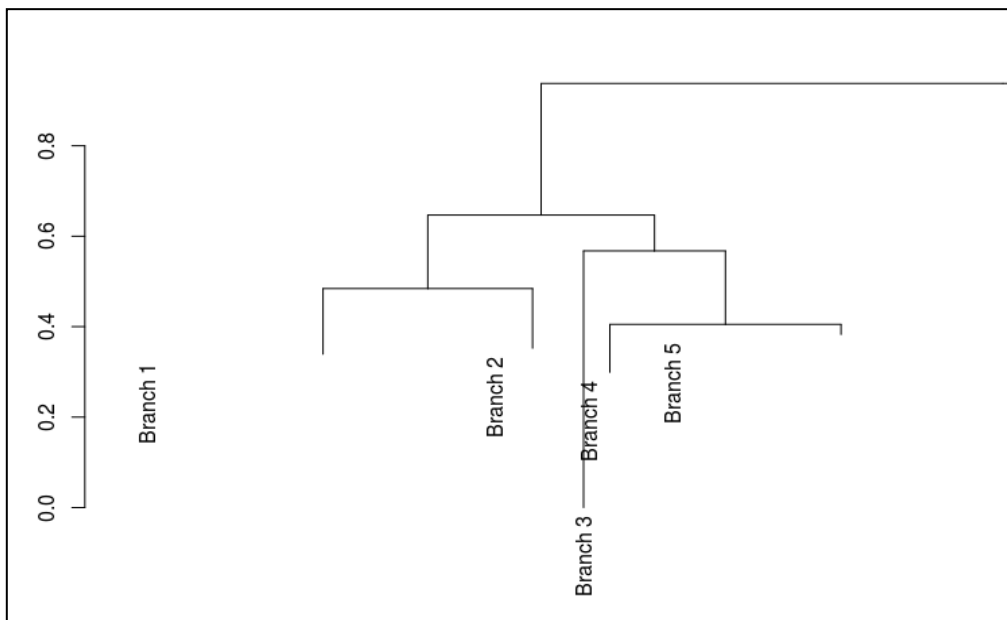


Se obtiene el siguiente dendrograma:

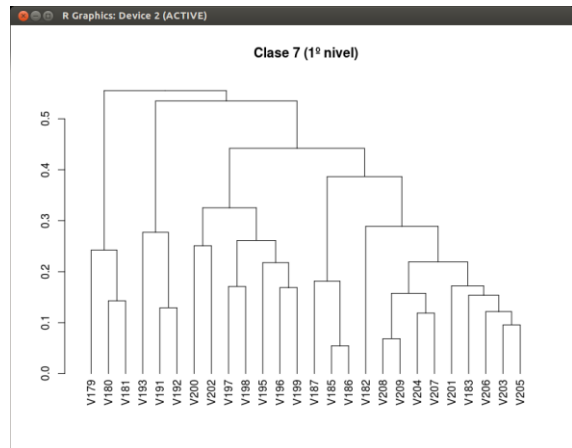
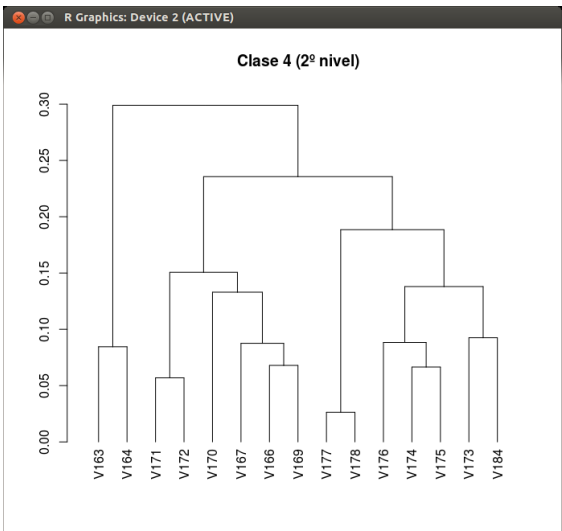
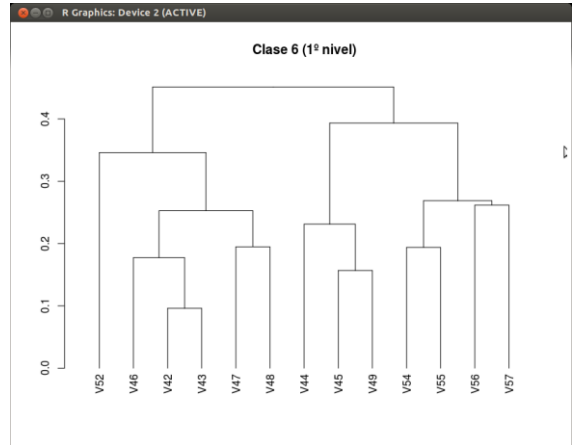
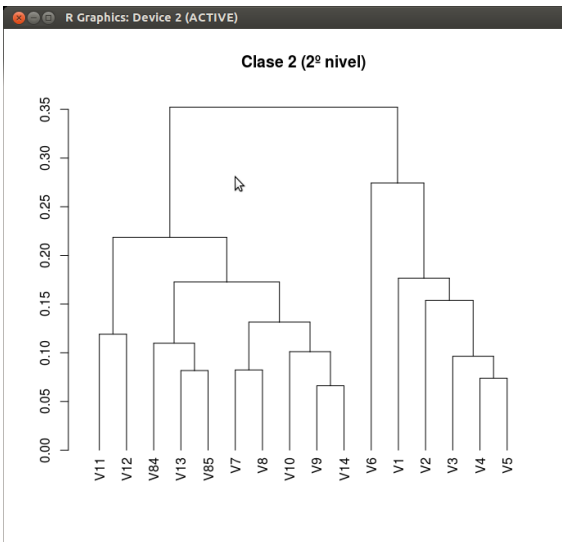
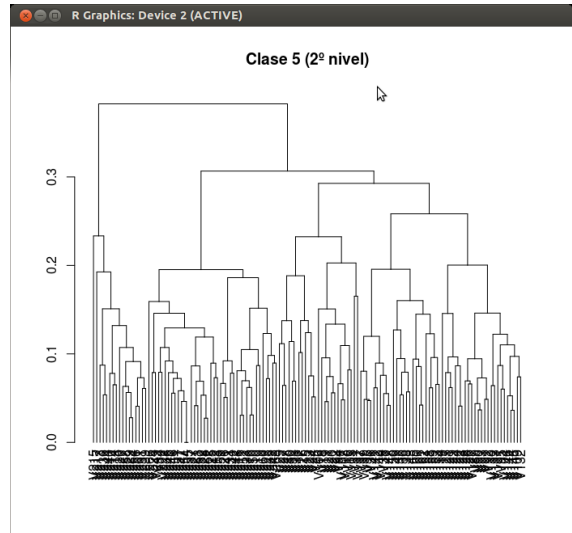
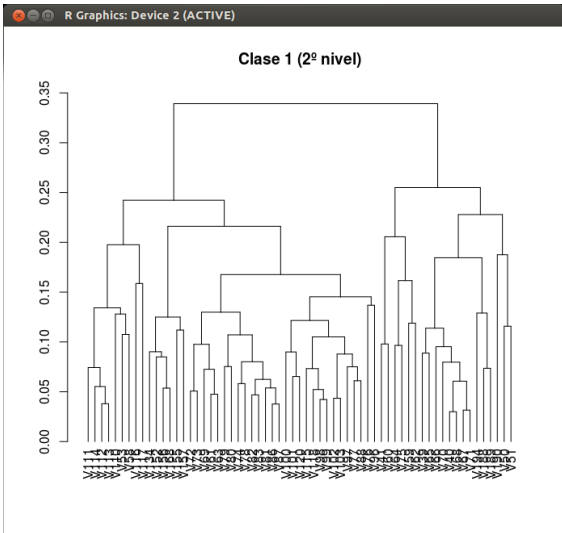




Realizamos dos cortes en el dendrograma: uno primero (línea roja) y otro segundo (línea verde) que divida las clases iniciales 1 y 2 en 2 clases a su vez (la clase 2 se divide en realidad en 3 clases pero una de ellas correspondiente a un *outlier*, (Branch3)).



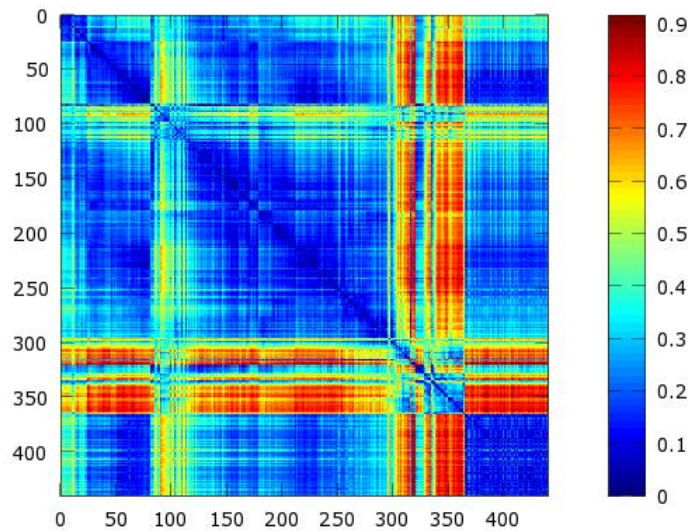
Con este doble corte obtenemos 6 clases, 2 de ellas procedentes del primer corte y 4 del segundo:



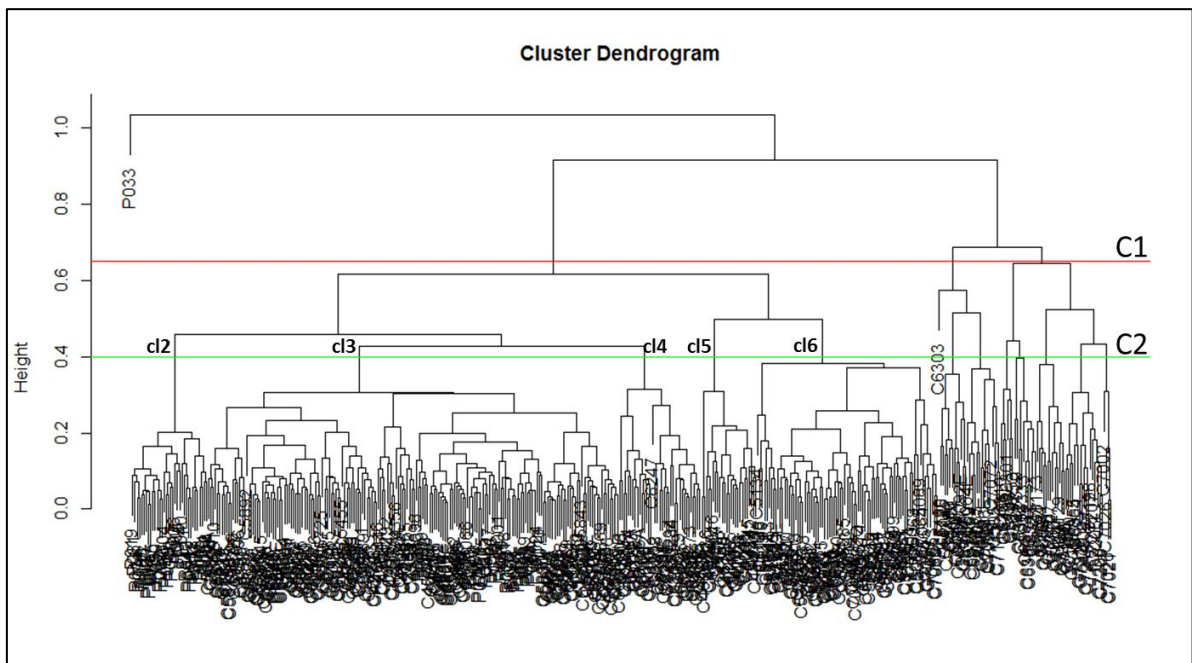
## 2º PRUEBA

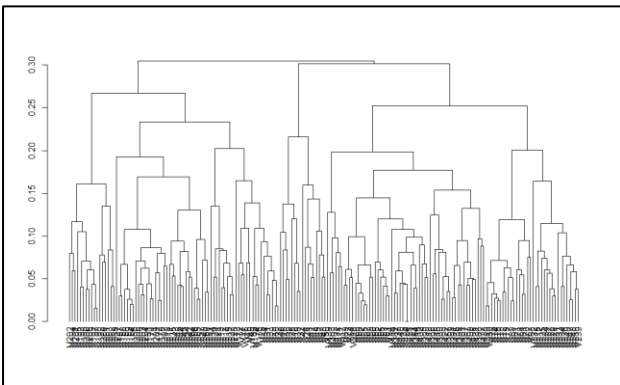
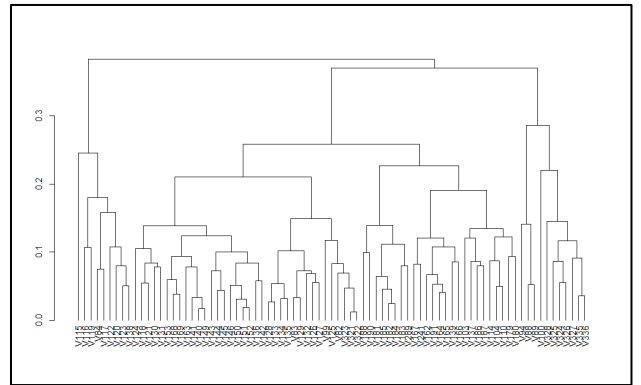
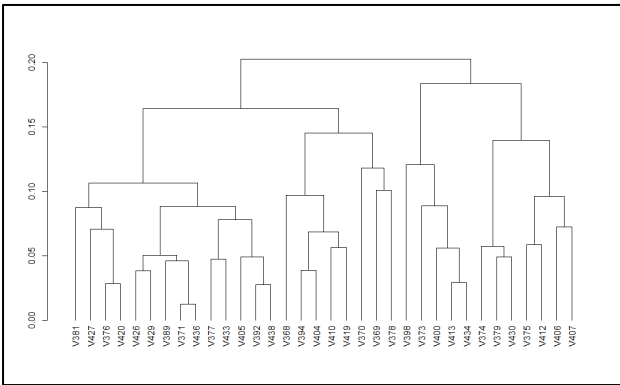
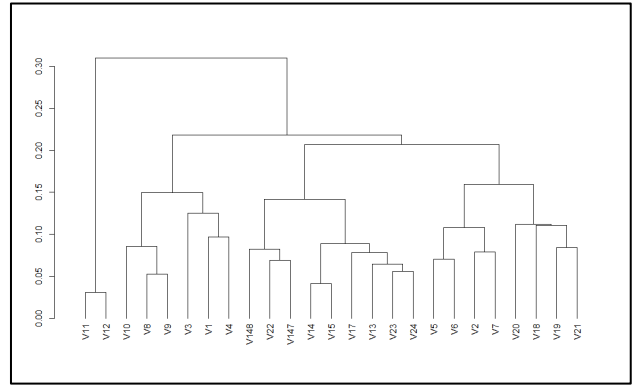
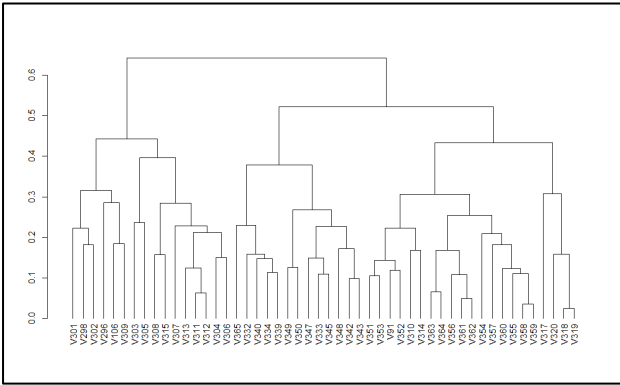
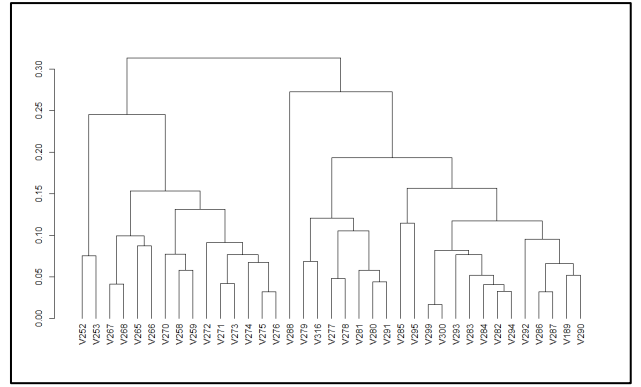
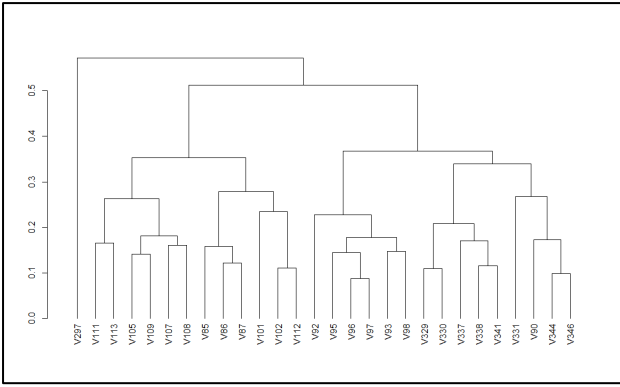
**Datos:** Se cuenta con datos mensuales de precipitación de **440** estaciones. Las series temporales son variables y van desde **Enero de 1971 hasta Diciembre 2000**.

La matriz de distancias obtenida con este método ha sido la siguiente:



Utilizando la misma metodología que en el caso anterior se realizó un análisis cluster obteniendo el siguiente dendrograma:





**COMPAREMOS LA PRUEBA 1 Y PRUEBA 2:****Importancia de la longitud de la serie y el nº de estaciones****Resultados estadísticos****1º PRUEBA**

	C1_cl1	C1_cl2	C1_cl3	C1_cl4
Nº de Jaccard*	0.5849888	<b>0.8198605</b>	0.3075415	<b>0.9456325</b>
Repeticiones de cada 1000	365	639	88	976

	C2_cl1	C2_cl2	C2_cl3	C2_cl4	C2_cl5	Otros
Nº de Jaccard*	0.6985809	<b>0.7751204</b>	----	0.5164074	0.6373541	----
Repeticiones de cada 1000	595	658	----	249	227	----

\* (>0.75, estables; >0.85, muy estable)

**2º PRUEBA**

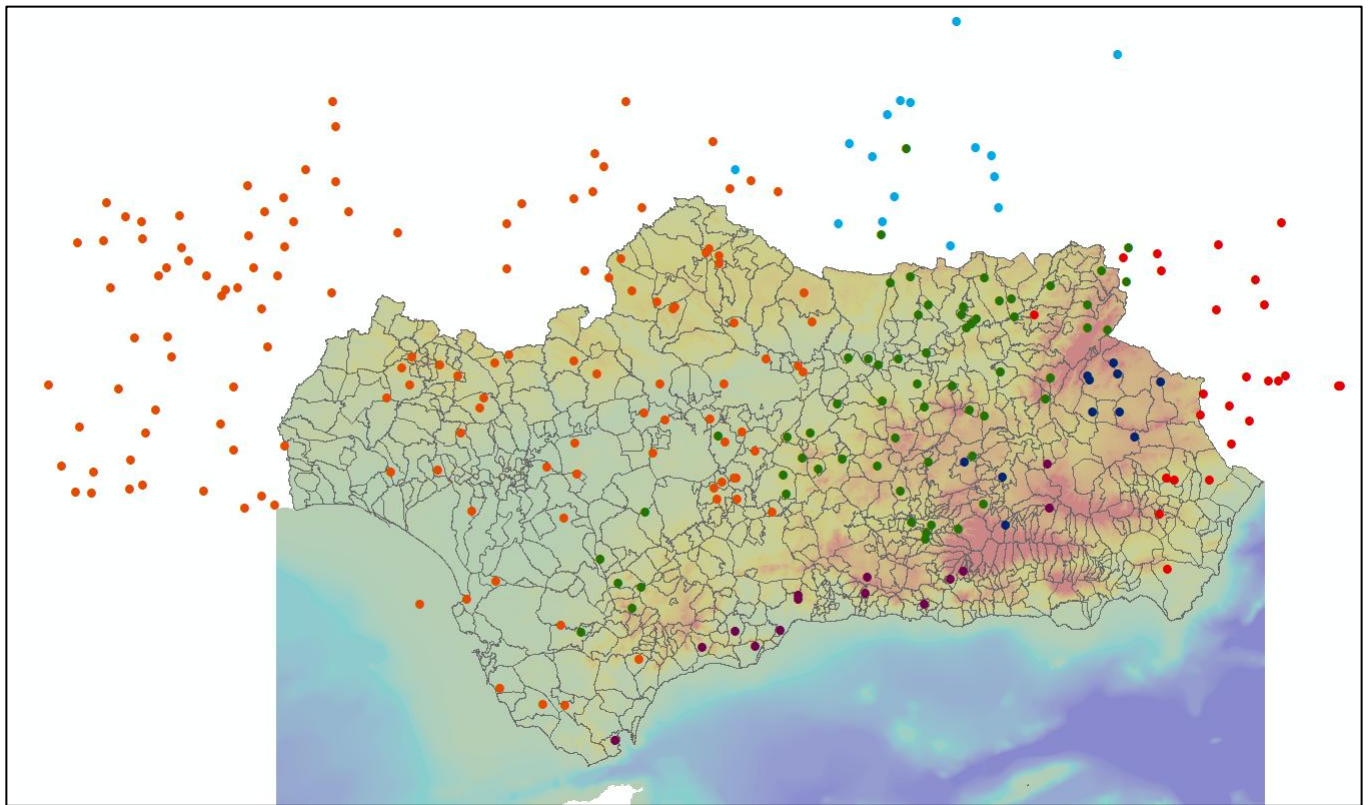
	C1_cl1	C1_cl2	C1_cl3	C1_cl4
Nº de Jaccard*	<b>0.89</b>	0.41	0.72	0.62
Repeticiones de cada 1000	791	109	436	651

	C2_cl1	C2_cl2	C2_cl3	C2_cl4	C2_cl5	C2_cl6
Nº de Jaccard*	0.62	0.74	0.69	0.65	0.50	0.66
Repeticiones de cada 1000	471	568	472	258	136	330

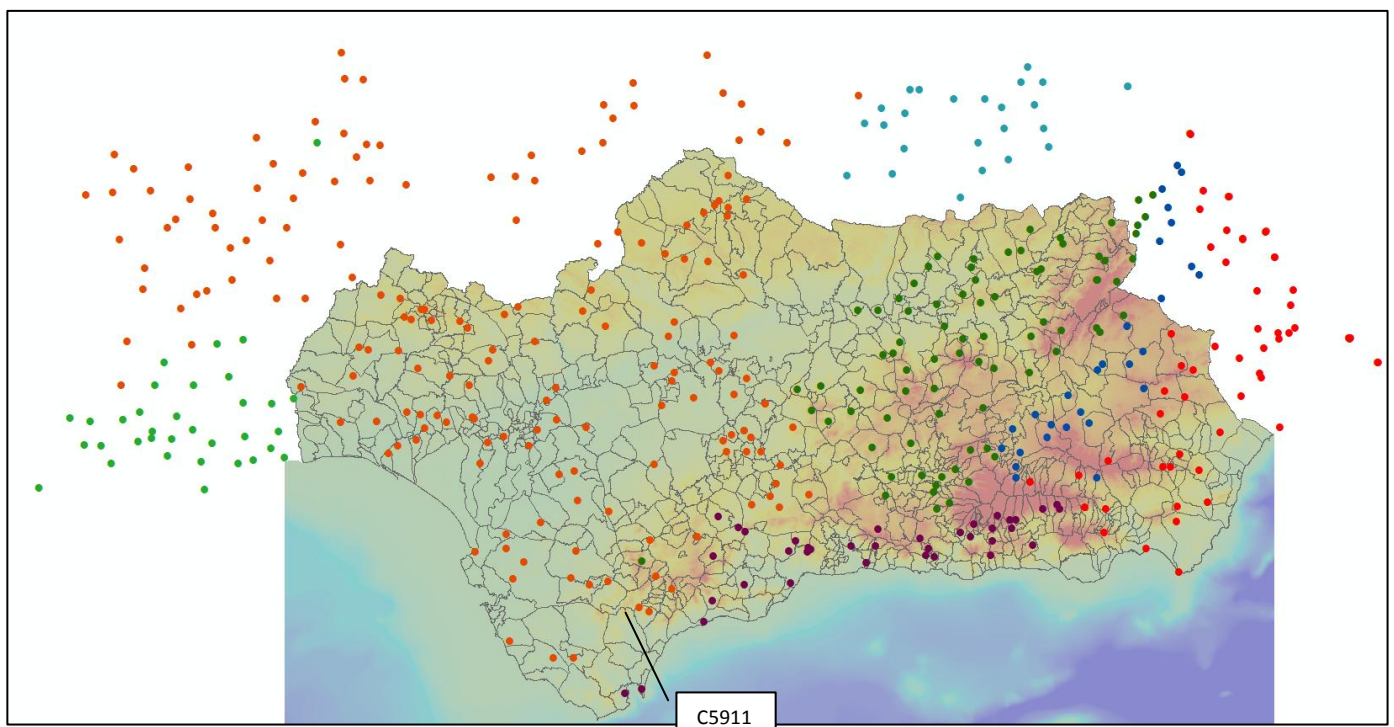
\* (>0.75, estables; >0.85, muy estable)

## Resultados espaciales

### 1º PRUEBA



### 2º PRUEBA



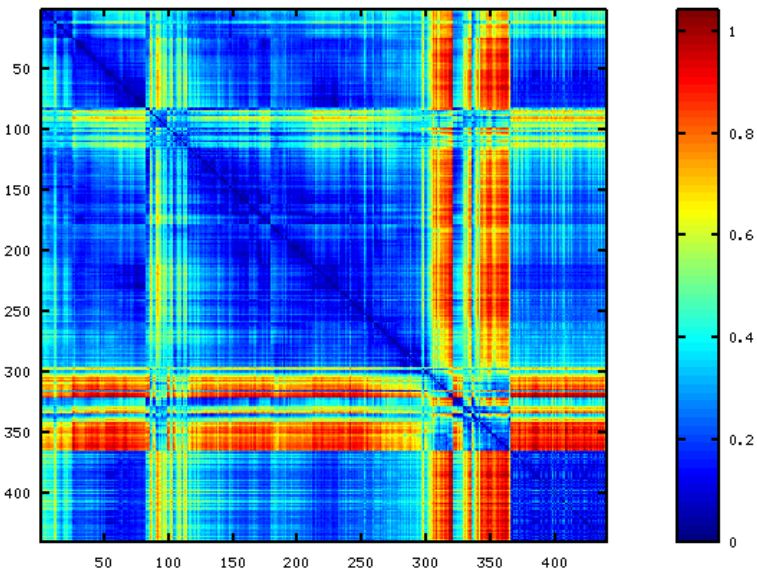
**BASÁNDONOS EN LOS VALORES DE LOS AJUSTES DE LOS CORTES DEL CLUSTER Y EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CLASES PODEMOS ASUMIR QUE ES PREFERIBLE UTILIZAR LA MATRIZ DE SERIE TEMPORAL MÁS CORTA, QUE CONTIENE MÁS ESTACIONES.**



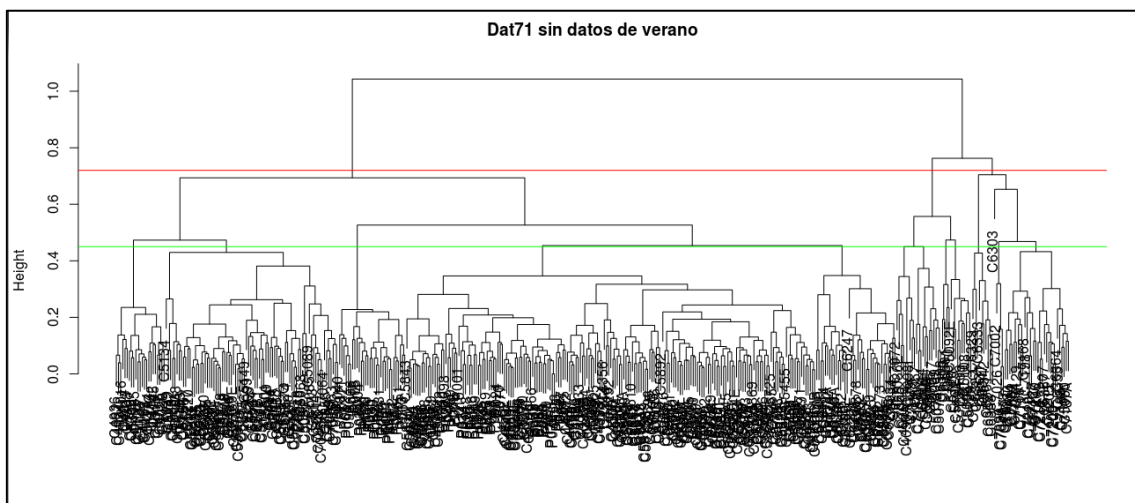
### 3º PRUEBA

**Datos:** Se cuenta con datos mensuales de precipitación de **440** estaciones. Las series temporales son variables y van desde **Enero de 1971 hasta Diciembre 2000**. Se eliminan los meses de verano (Junio, Julio y Agosto) para observar el efecto que tienen en el análisis.

La matriz de distancias obtenida con este método ha sido la siguiente:



Utilizando la misma metodología que en el caso anterior se realizó un análisis cluster obteniendo el siguiente dendrograma:



**COMPAREMOS LA PRUEBA 2 Y PRUEBA 3:****Efecto de los meses de verano en las series****Resultados estadísticos****2º PRUEBA**

	C1_cl1	C1_cl2	C1_cl3	C1_cl4
Nº de Jaccard*	<b>0.8968771</b>	0.4119808	0.7244965	0.6200000
Repeticiones de cada 1000	791	109	436	651

	C2_cl1	C2_cl2	C2_cl3	C2_cl4	C2_cl5	C2_cl6	Otros
Nº de Jaccard*	0.6240787	0.7449680	0.6961850	0.6555301	0.5044526	0.6682915	----
Repeticiones de cada 1000	471	568	472	258	136	330	----

\* (&gt;0.75, estables; &gt;0.85,muy estable)

**3º PRUEBA**

	C1_cl1	C1_cl2	C1_cl3
Nº de Jaccard*	0.89	0.50	0.78
Repeticiones de cada 1000	761	216	634

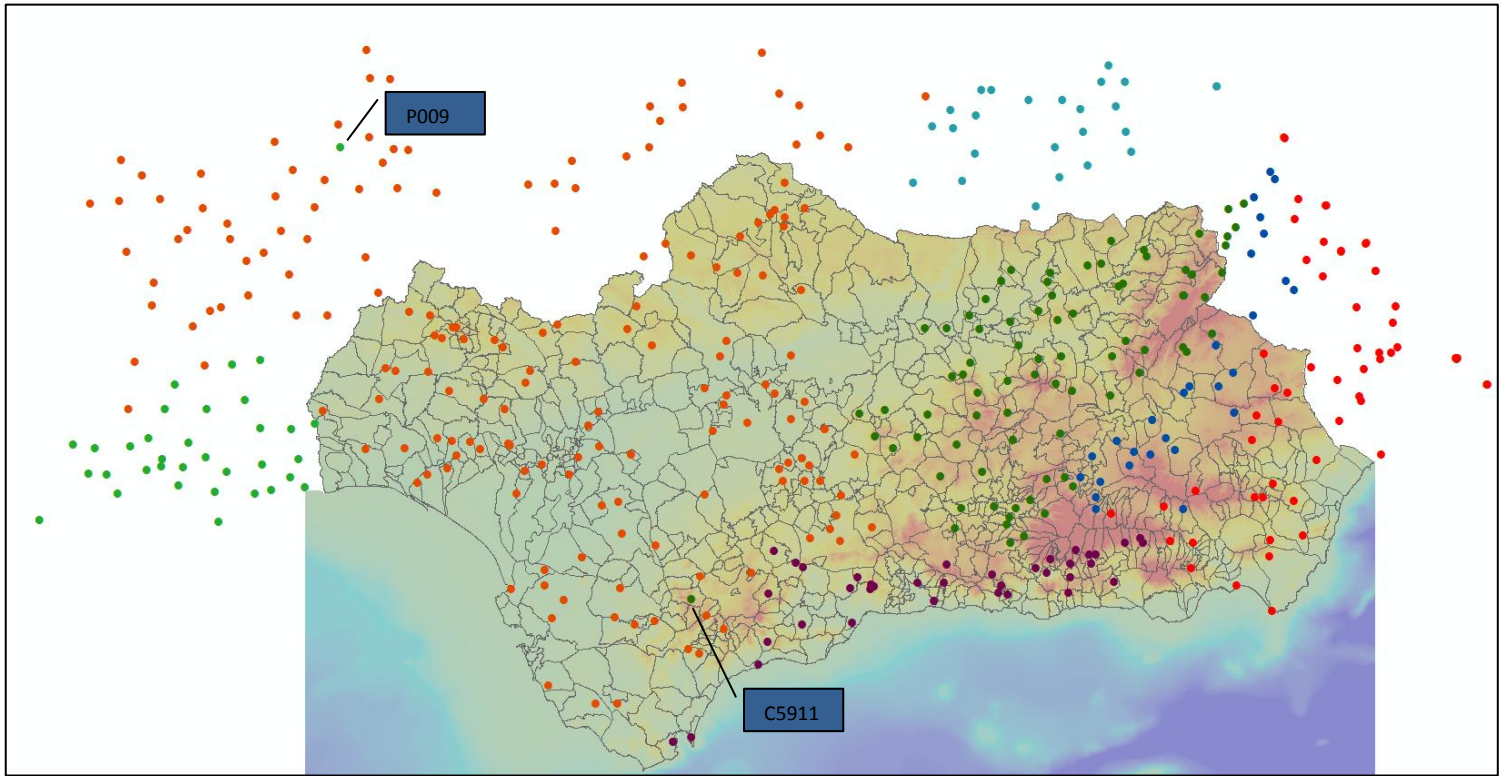
	C2_cl1	C2_cl2	C2_cl3	C2_cl4	C2_cl5
Nº de Jaccard*	0.48	0.55	0.75	0.68	0.40
Repeticiones de cada 1000	281	238	604	356	24

\* (&gt;0.75, estables; &gt;0.85,muy estable)

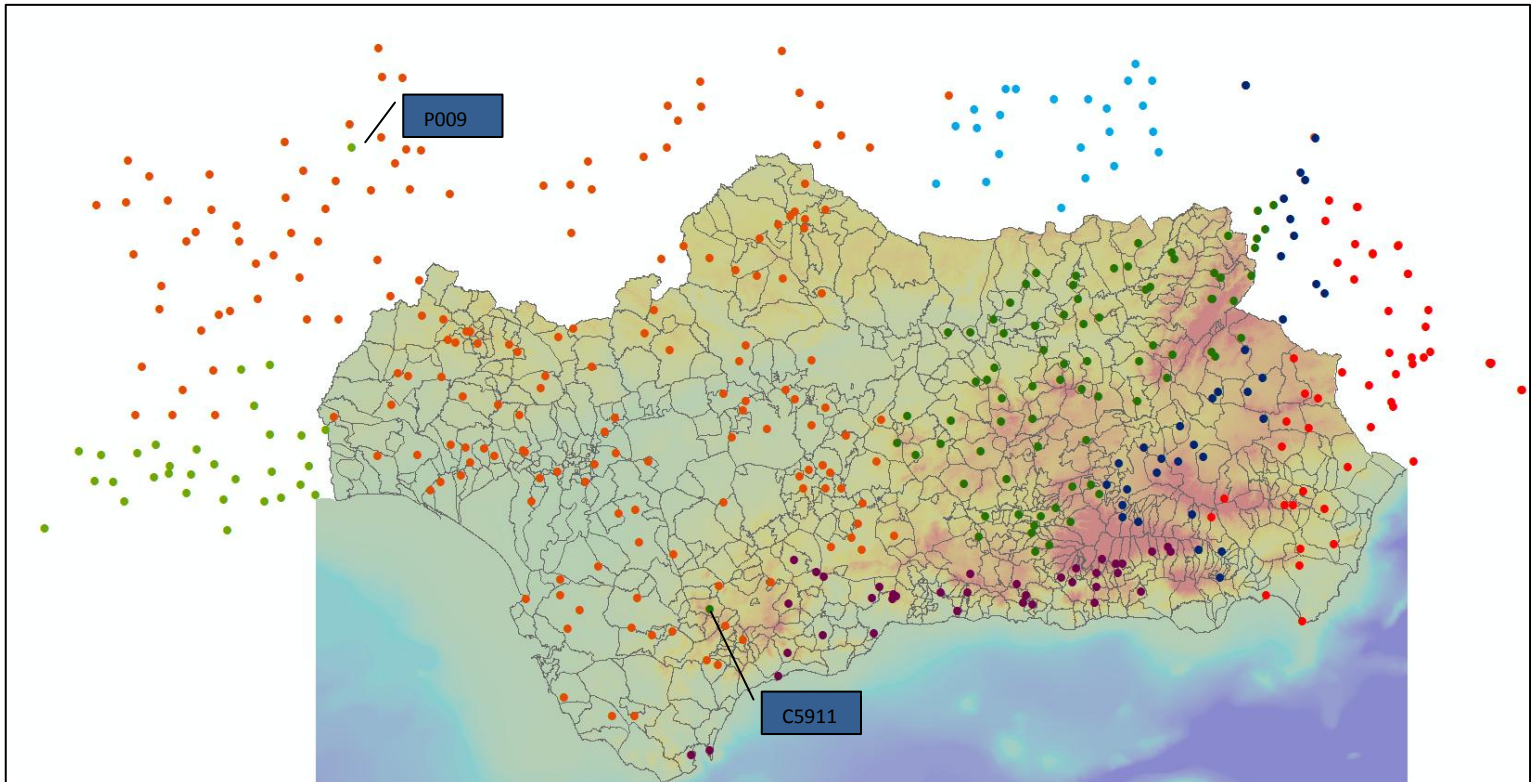


## Resultados espaciales

2º PRUEBA (71-2000)



3º PRUEBA (71-2000sv)

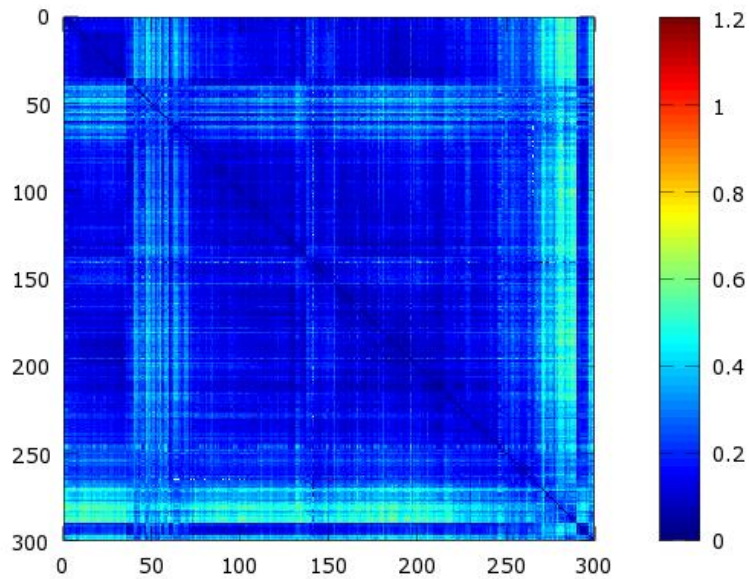


**BASÁNDONOS EN LOS VALORES DE LOS AJUSTES DE LOS CORTES DEL CLUSTER Y EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CLASES PODEMOS ASUMIR QUE NO ES RELEVANTE EL EFECTO DE LOS MESES DE VERANO, POR LO QUE NO ES NECESARIO ELIMINARLOS DE LAS SERIES.**

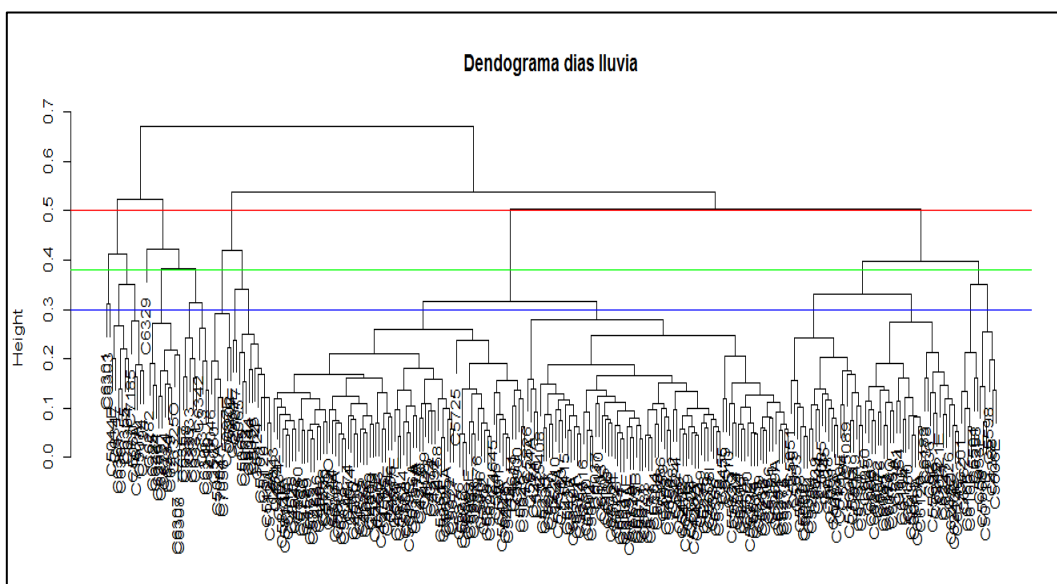
#### 4º PRUEBA

**Datos:** Las series temporales son variables y van desde **Enero de 1971 hasta Diciembre 2000**. En este caso se utiliza como variable el número de días que ha llovido cada mes, y no la cantidad de precipitación (**11** estaciones tienen que eliminarse por falta de datos). Se cuenta finalmente con **288** estaciones.

La matriz de distancias obtenida con este método ha sido la siguiente:



Utilizando la misma metodología que en el caso anterior se realizó un análisis cluster obteniendo el siguiente dendrograma, que muestra un patrón diferente de los anteriores:



**COMPAREMOS LA PRUEBA 2 Y PRUEBA 4:**

Relevancia de la información recogida en el número de días de lluvia

**Resultados estadísticos****2º PRUEBA**

	C1_cl1	C1_cl2	C1_cl3	C1_cl4
Nº de Jaccard*	<b>0.8968771</b>	0.4119808	0.7244965	0.6200000
Repeticiones de cada 1000	791	109	436	651

	C2_cl1	C2_cl2	C2_cl3	C2_cl4	C2_cl5	C2_cl6	Otros
Nº de Jaccard*	0.6240787	0.7449680	0.6961850	0.6555301	0.5044526	0.6682915	----
Repeticiones de cada 1000	471	568	472	258	136	330	----

\* (&gt;0.75, estables; &gt;0.85,muy estable)

**4º PRUEBA**

	C1_cl1	C1_cl2	C1_cl3	C1_cl4	C1_cl5
Nº de Jaccard*	0.73	0.27	0.33	0.43	0.43
Repeticiones de cada 1000	380	0	7	76	40

	C2_cl8	C2_cl9	C2_cl10
Nº de Jaccard*	0.52	0.50	0.33
Repeticiones de cada 1000	419	78	274

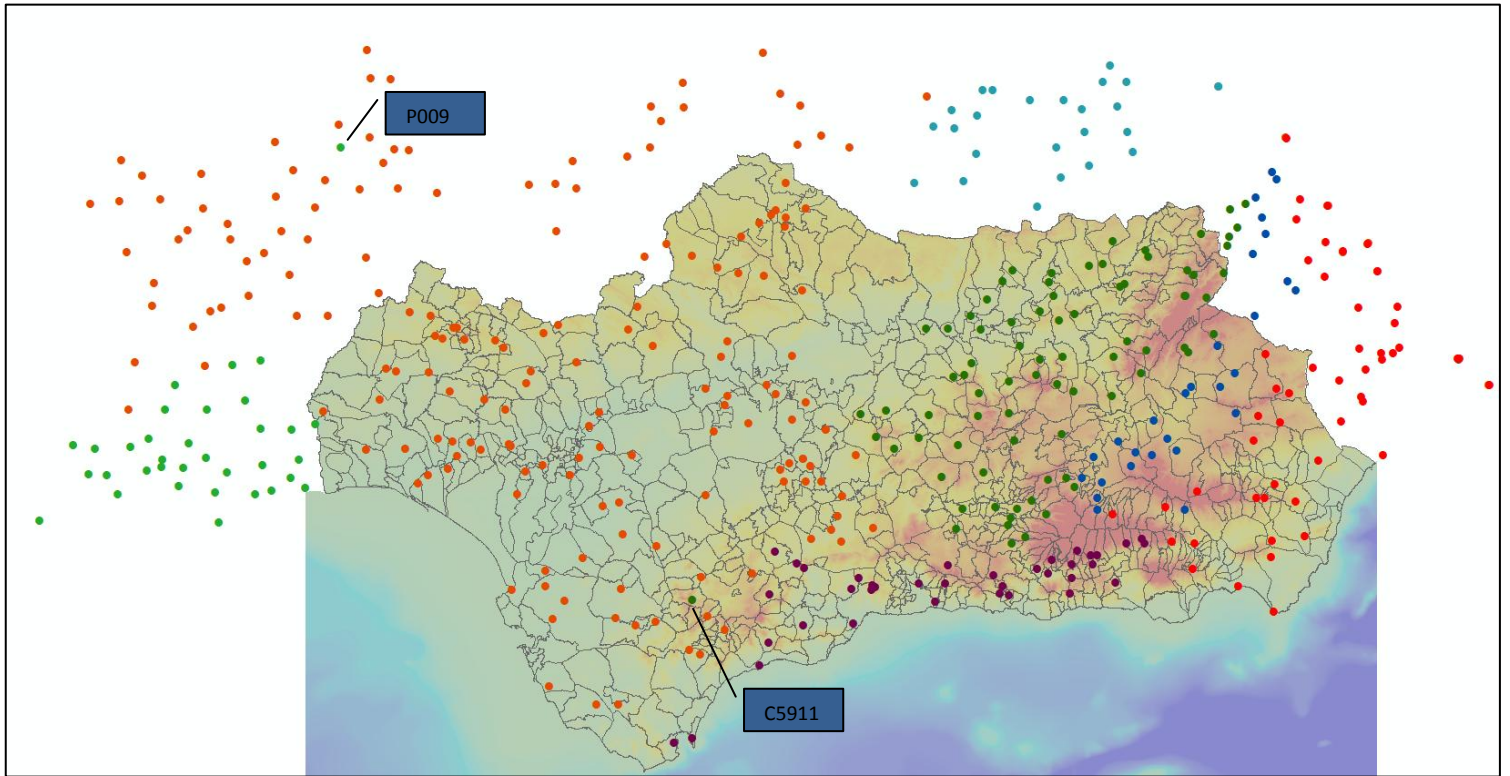
	C3_cl12	C3_cl13	C3_cl14	C3_cl15
Nº de Jaccard*	0.49	0.50	0.63	0.41
Repeticiones de cada 1000	89	454	637	84

\* (&gt;0.75, estables; &gt;0.85,muy estable)

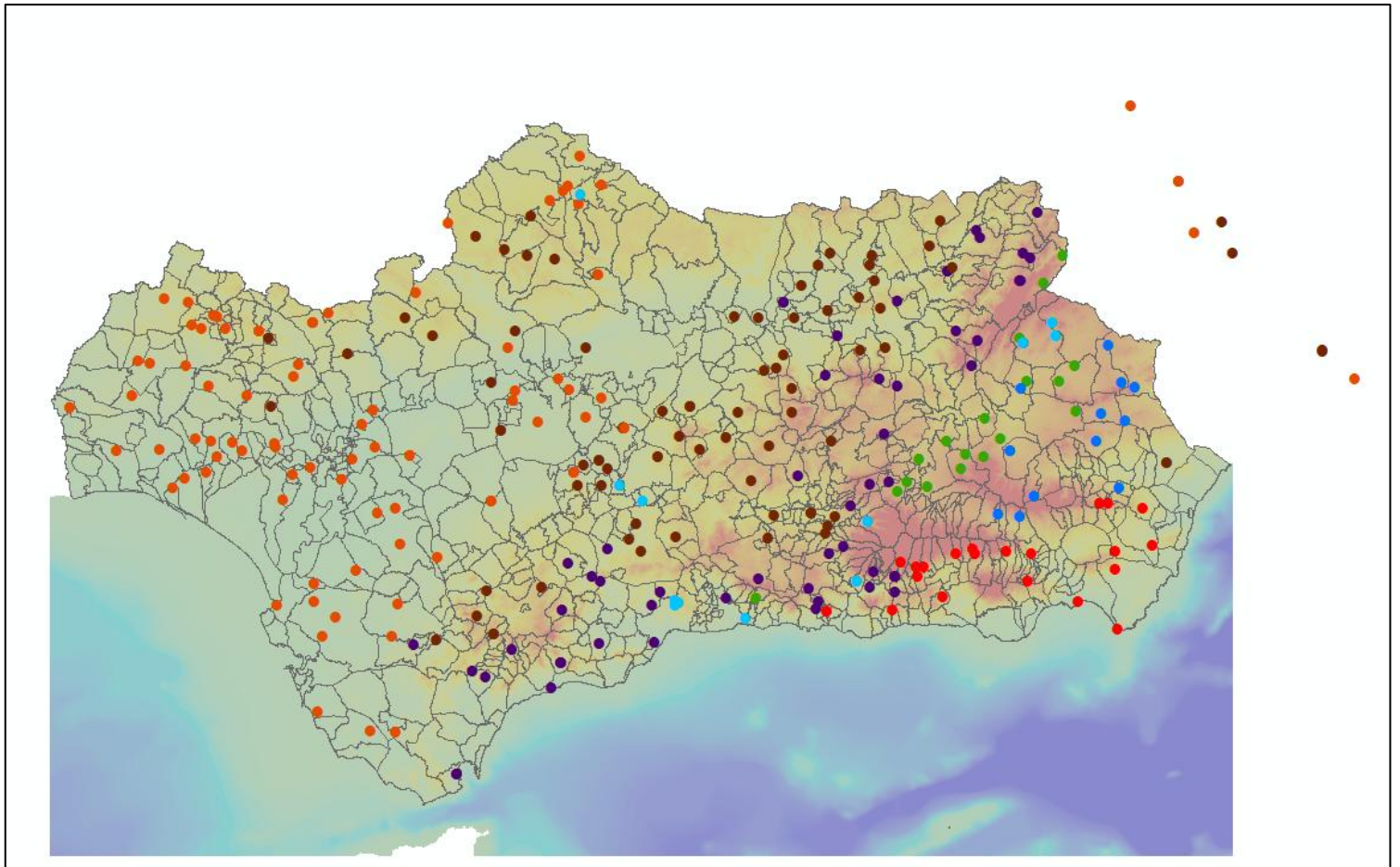


## Resultados espaciales

2º PRUEBA (71-2000)



4º PRUEBA (71-2000 días)



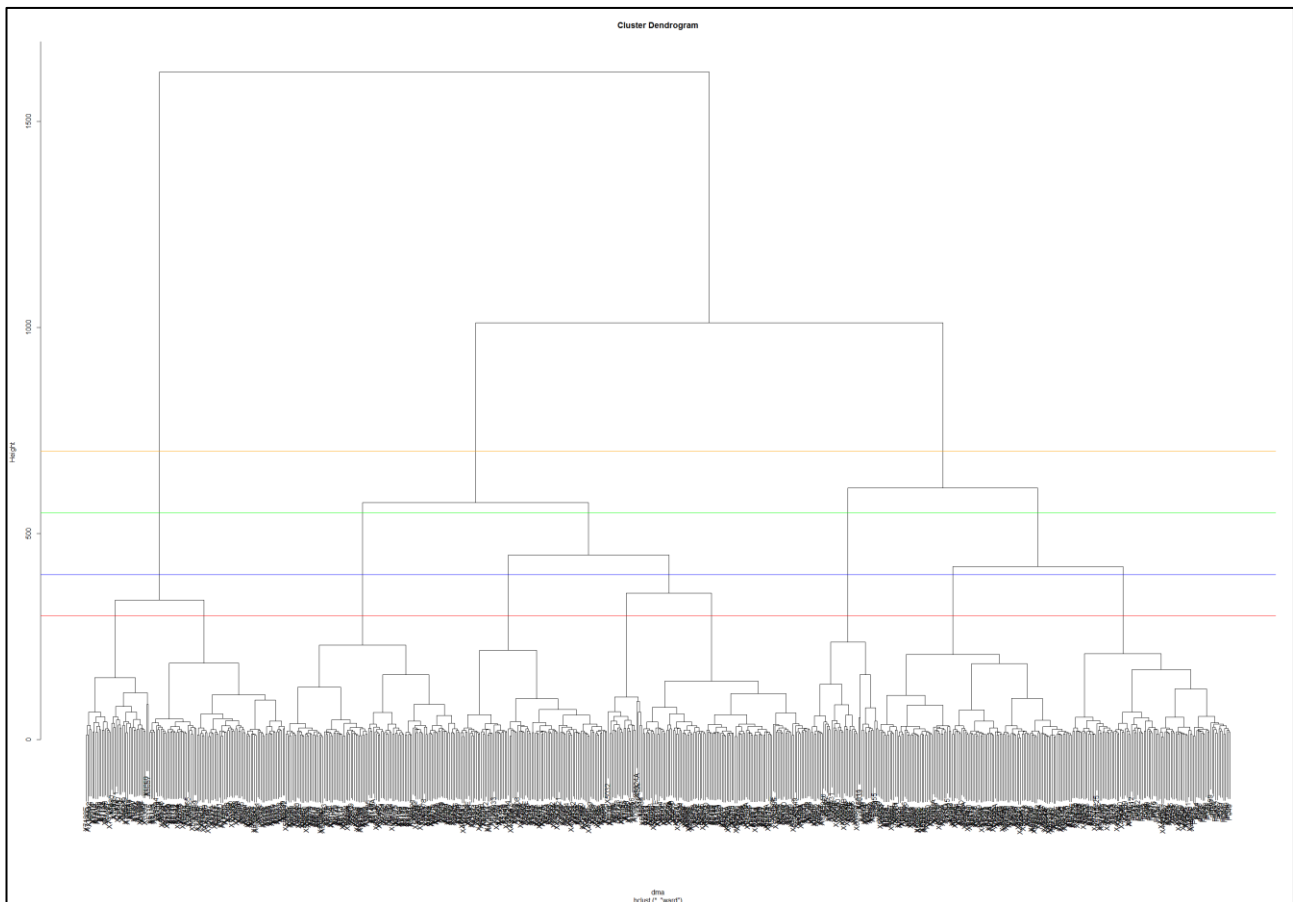
**BASÁNDONOS EN LOS VALORES DE LOS AJUSTES DE LOS CORTES DEL CLUSTER (PEORES PARA LOS DATOS DE DÍAS) Y EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CLASES (NO CON DEMASIADA CONTINUIDAD ESPACIAL) PODEMOS DESCARTAR EL USO DE LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN PARA LA DEFINICIÓN DE LAS ÁREAS DE PRECIPITACIÓN**

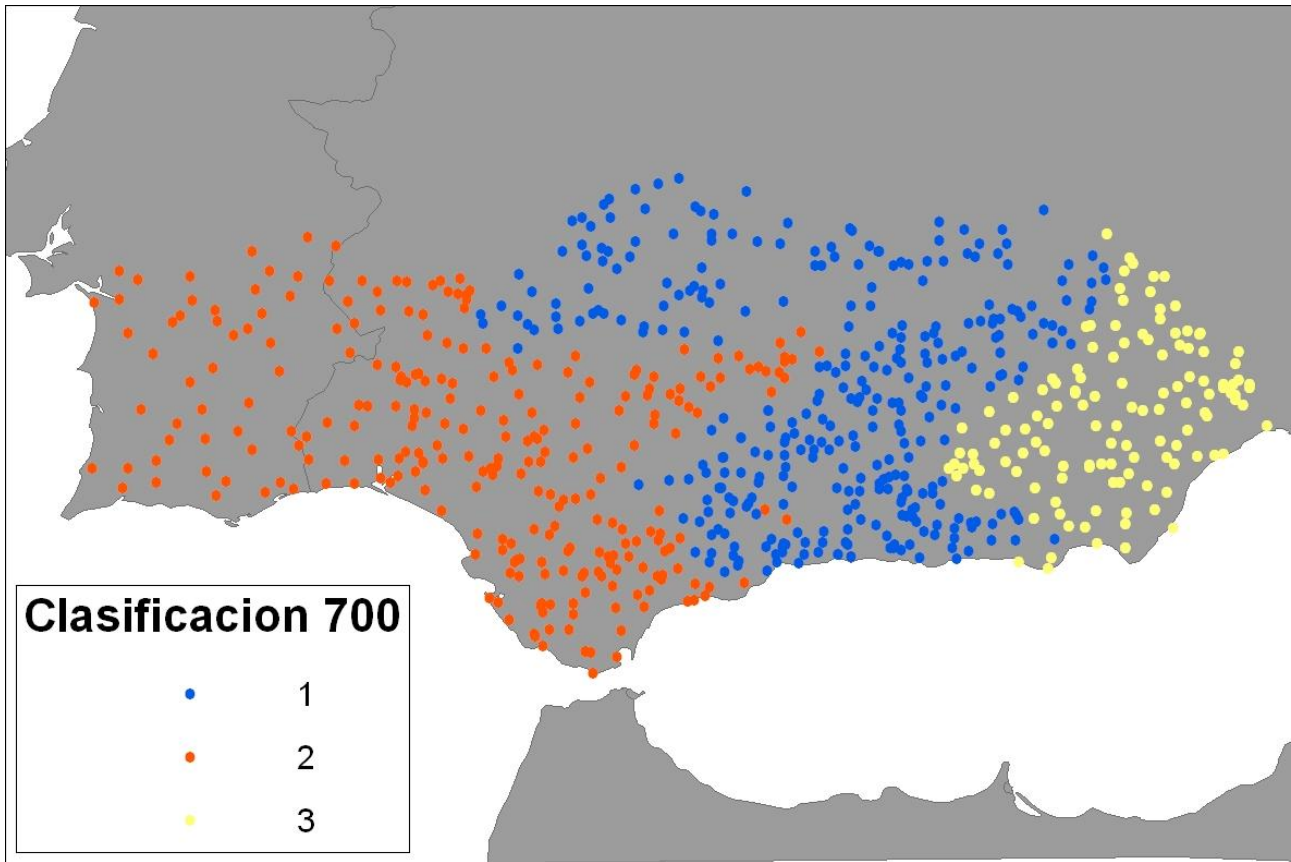


## ANEXO 2. RESULTADOS COMPLETOS DEL ANÁLISIS EXPLORATORIO SOBRE LA ELECCIÓN METODOLÓGICA

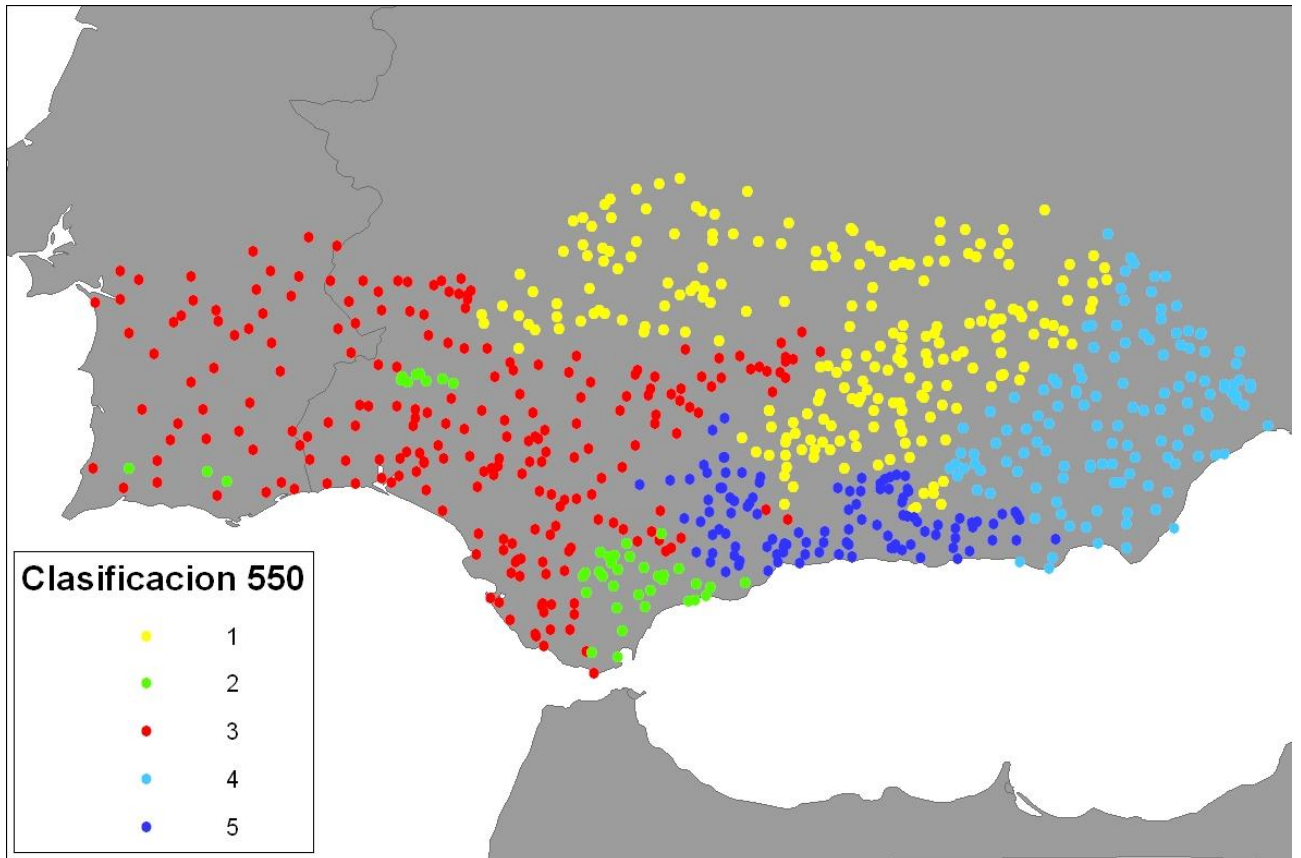
### 1. Prueba 5 (b). Distancia euclídea y método de agrupamiento de Ward empleando valores estandarizados.

Probamos también qué pasaría si normalizamos los datos no por estación si no por variable (por mes). La clasificación en este caso es también coherente.



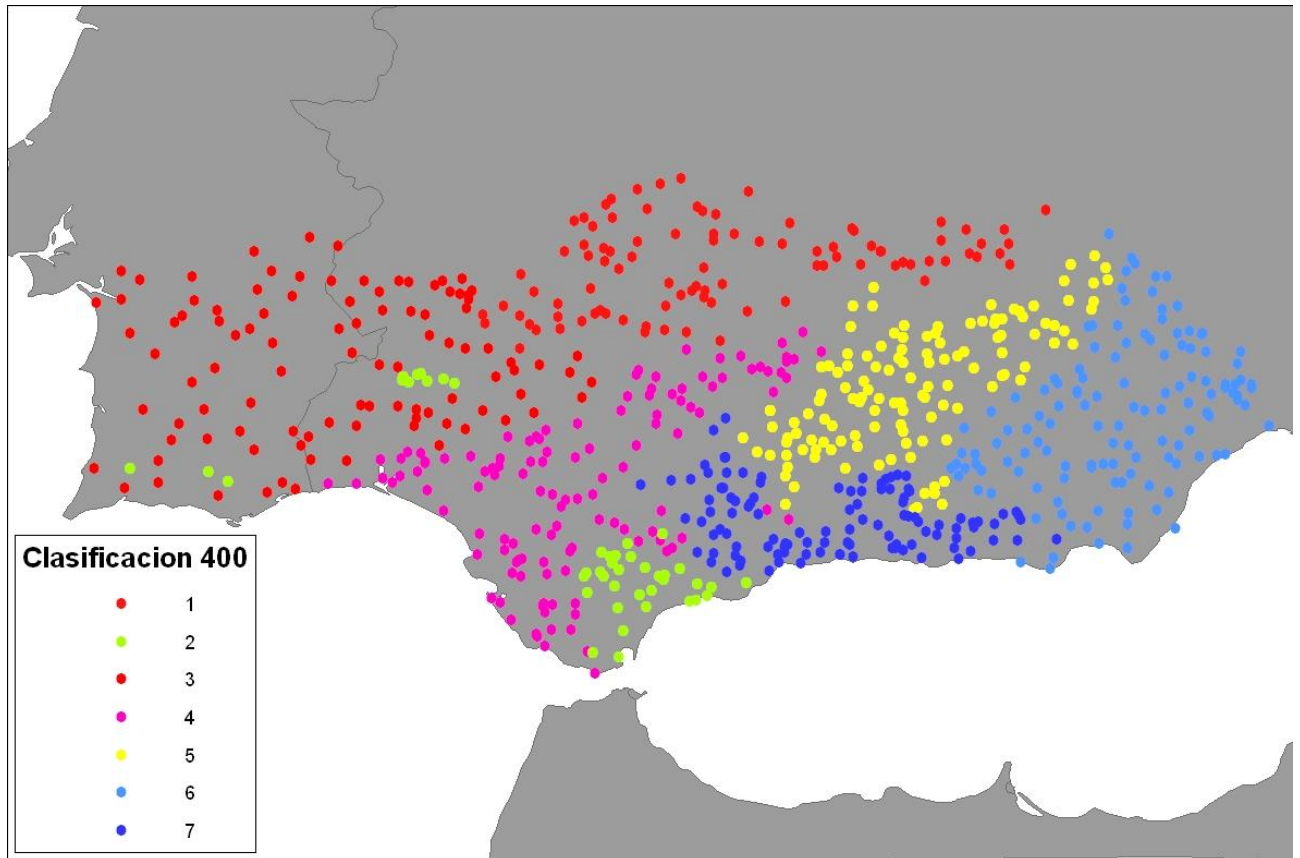


cl700	Total	Porcentaje
1	331	45.84%
2	265	36.70%
3	126	17.45%

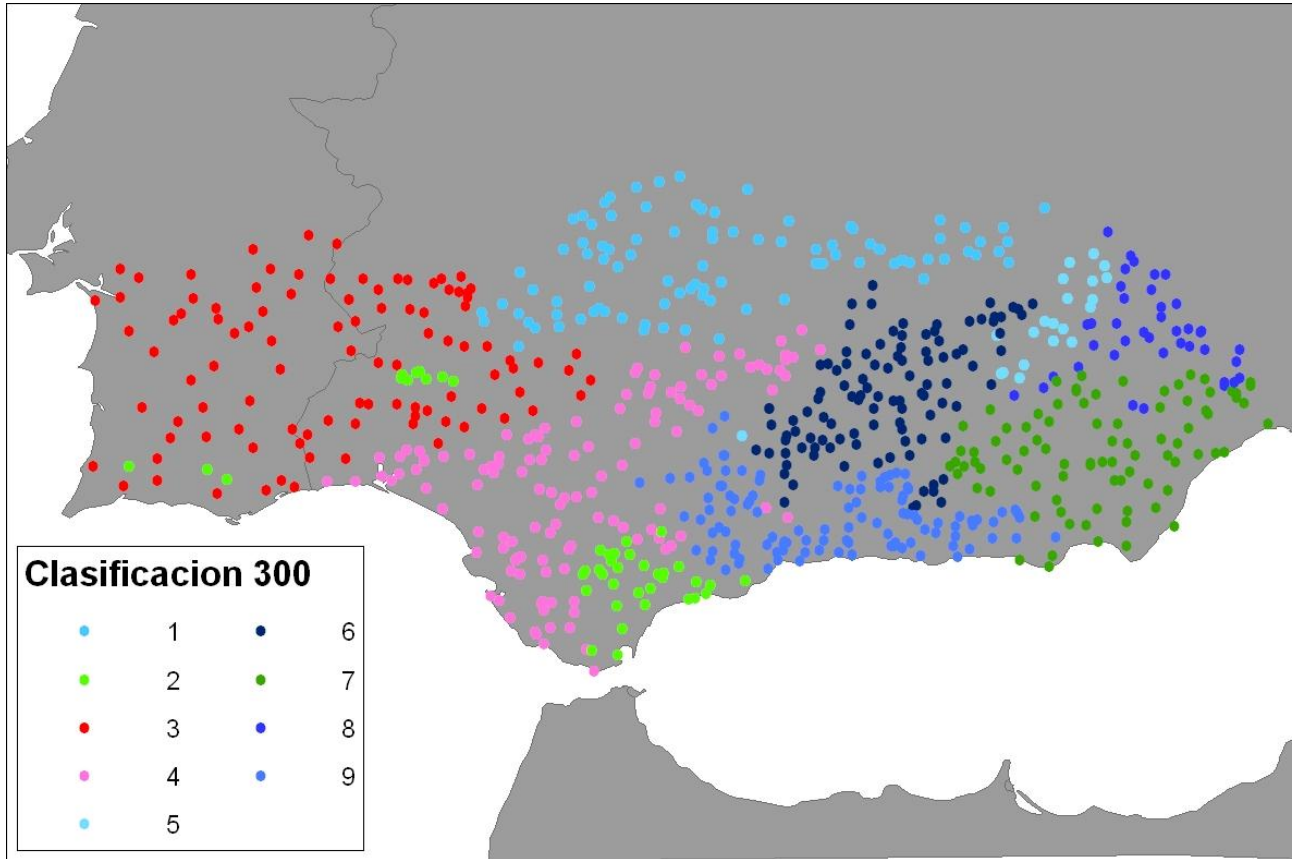


cl550	Total	Porcentaje
1	221	30.61%
2	43	5.96%
3	222	30.75%
4	126	17.45%
5	110	15.24%





cl400	Total	Porcentaje
1	93	12.88%
2	43	5.96%
3	100	13.85%
4	122	16.90%
5	128	17.73%
6	126	17.45%
7	110	15.24%



cl300	Total	Porcentaje
1	93	12.88%
2	43	5.96%
3	100	13.85%
4	122	16.90%
5	22	3.05%
6	106	14.68%
7	86	11.91%
8	40	5.54%
9	110	15.24%

## ANEXO 3. CÓDIGOS EN LENGUAJE R EMPLEADOS EN LOS CÁLCULOS DE LOS ANÁLISIS

Software R de tratamiento estadístico The R Project for Statistical Computing ([www.r-project.org](http://www.r-project.org))

- CÁLCULO DE DISTANCIAS ENTRE SERIES DE TIEMPO: PEARSON (Octave)%%

more off

```
bNam='Base_datos_completav1';
nMes=12;
minMeses=12;
```

```
%cargar fila a fila el archivo de entrada
% para obtener la lista de los nombres de las estaciones
f=fopen([ bNam '.csv'], 'r');
fgets(f); %header
nlocs=0;
locations={};
nlocation=[];
n=0;
while( ~feof(f) )
  n=n+1;
  s=fgets(f);
  ss=s(1:index(s,',')-1);
  if( n==1 || ~strcmp(ss, as) )
    nlocs=nlocs+1;
    locations{nlocs}=ss;
  endif
  nlocation(n)=nlocs;
  as=ss;
endwhile
fclose(f);
```

```
%leer el mismo archivo como CSV numérico
a=dlmread( [bNam '.csv'], ',');
a=a(2:end,2:end);
```

```
%ordenar los datos en forma de serie temporal mensual
y=a(:,1); %año
p=a(:,2:end); %precipitaciones mensuales
p(p(:)<0)=NaN;
```

```
%inicializar matriz de series temporales
y0=min(y);
nyrs=max(y)-y0+1;
nlocs=0;
data=[];
```

```

%rellenar la matriz: filas = estaciones; columnas = meses
n=0;
ay=y(1);
while( n<size(p,1) )
    n=n+1;

    if( n==1 || nlocation(n)~=nlocation(n-1) )
        nlocs=nlocs+1;
        data(nlocs,:)=nan(1,nMes*nyrs);
    endif

    data(nlocs,nMes*(y(n)-y0)+1:nMes*(y(n)-y0)+nMes)=p(n,:);

    ay=y(n);

endwhile

%liberar la memoria de los datos que no se necesitan
clear a p

%guardar las series temporales en un CSV
%cabecera: fecha y nombres de estaciones
f=fopen( [bNam '-dataf.csv'], 'w');
m=[0:size(data,2)-1]';
mm=mod(m,nMes)+1;
yy=floor(m/nMes)+y0;
fprintf(f, 'ID,Year,Month');
for n=1:nlocs
    fprintf(f, ',%s', locations{n});
endfor
fprintf(f, '\n');

%construir la matriz de datos que se volcará al CSV
a=[m,yy,mm, data'];
for n=1:size(a,1)
    fprintf(f, '%d,%d,%d', a(n,1:3));
    fprintf(f, ',%g', a(n,4:end));
    fprintf(f, '\n');
endfor
fclose(f);
%dlmwrite( [bNam '-data.csv'], a, ',', 'append', 'on');

%calcular matriz de distancias de correlación
dmatrix=zeros(nlocs);
for n=1:nlocs
    for m=1:n-1

```

```

%máscara para descartar datos faltantes en las series temporales
msk=(~isnan(data(n,:)) & (~isnan(data(m,:)));
if(sum(msk)>minMeses)
  dmatrix(n,m)=dmatrix(m,n)=1-corrcoef(data(n,msk),data(m,msk));
else
  dmatrix(n,m)=dmatrix(m,n)=NaN;
endif

endfor
endfor

%las distancias que no se pudieron guardar se ponen
% a la máxima distancia (=2)
dmatrix(isnan(dmatrix(:)))=2;

%guardar la matriz de distancias
dlmwrite( [bNam '-distf' num2str(minMeses) '.csv'], gmatrix, ',')

```

- **CLASIFICACIÓN DE SERIES TEMPORALES DE PRECIPITACIÓN (lenguaje R)##**

```
#####DISTANCIAS ENTRE SERIES:PEARSON#####
```

```
rm(list=ls())
```

```
#LIBRERÍAS
library('fpc')
```

```
#LEER BASES DE DATOS
```

```
a<-read.csv('BASE_DATOS-distf12.csv', header=FALSE) #matriz de distancias
aa<-read.csv('BASE_DATOS-dataf.csv', header=TRUE) #matriz de serie de datos
```

```
#ANÁLISIS CLUSTER
```

```
di<-as.dist(a)
h<-hclust(di, method="ward")
h<-hclust(di, method="complete")
h<-hclust(di, method="average")
plot(h)
```

```
#VALIDACIÓN CLASIFICACIÓN
```

```
#ward
```

```
val<-clusterboot(di,B=1000,distances=T,clustermethod = disthclustCBI, bootmethod="boot",
method="ward", cut="number", k=4, recover=0.75, count=T, dissolved=0.5)
```

```
#complete
```

```
val<-clusterboot(di,B=1000,distances=T,clustermethod = disthclustCBI, bootmethod="boot",
method="complete", cut="number", k=5, recover=0.75, count=T, dissolved=0.5)
```

```
#average
```

```
val<-clusterboot(di,B=1000,distances=T,clustermethod = disthclustCBI, bootmethod="boot",
method="average", cut="number", k=6, recover=0.75, count=T, dissolved=0.5)
```

```

#comprobacion
vv<-as.vector(val$partition)
bb$vv<-vv

#GENERAR DENDROGRAMAS
#Obtener el nombre de las estaciones
d<-dim(aa)
dd<-d[2]
ll<-colnames(aa)[4:dd]
lll<-vector(mode="character",length=722)

plot(h, labels=ll)
plot(h, xlab="", labels=lll, sub="", axes=T)

#ward
abline(h=10, col="orange", lwd=3)
abline(h=5, col="blue", lwd=3)
abline(h=4, col="red", lwd=3)
abline(h=3, col="green", lwd=3)

#complete
abline(h=0.68, col="orange", lwd=3)
abline(h=0.5, col="blue", lwd=3)
abline(h=0.4, col="red", lwd=3)
abline(h=0.3, col="green", lwd=3)

#average
abline(h=0.41, col="orange", lwd=3)
abline(h=0.36, col="blue", lwd=3)
abline(h=0.3, col="red", lwd=3)
abline(h=0.17, col="green", lwd=3)

#GENERAR TABLAS PARA EXPORTAR A UN SIG
b<-matrix(data = NA, nrow =(dd-3) , ncol = 1, byrow = FALSE)
bb<-as.data.frame(b)
bb[,1]<-ll
dendro<-as.dendrogram(h)

#ward
h10<-cutree(h, h=10)
h5<-cutree(h, h=5)
h4<-cutree(h, h=4)
h3<-cutree(h, h=3)

bb$cl10<-h10
bb$cl5<-h5
bb$cl4<-h4
bb$cl3<-h3

```

```
#complete
h068<-cutree(h, h=0.68)
h05<-cutree(h, h=0.5)
h04<-cutree(h, h=0.4)
h03<-cutree(h, h=0.3)
```

```
bb$cl068<-h068
bb$cl05<-h05
bb$cl04<-h04
bb$cl03<-h03
```

```
#average
h041<-cutree(h, h=0.41)
h036<-cutree(h, h=0.36)
h03<-cutree(h, h=0.3)
h017<-cutree(h, h=0.17)
```

```
bb$cl041<-h041
bb$cl036<-h036
bb$cl03<-h03
bb$cl017<-h017
```

```
str(bb)
summary(bb)
```

```
#Grabamos las tablas para su representación
write.csv(bb, file="ward_1509.csv")
write.csv(bb, file="complete_1509.csv")
write.csv(bb, file="average_1509.csv")
```

```
#####CLASIFICACIÓN CON DISTANCIA EUCLIDEA, MET.:WARD#####
```

```
rm(list=ls())
```

```
#LIBRERÍAS
install.packages("StatMatch")
library('StatMatch')
library('proxy')
```

```
#LEER BASES DE DATOS
a<-read.csv('BASE_DATOS-dataf.csv', sep=";", header=T) #Series de precipitación
length(a)
aa<-a[,4:length(a)]
bb<-as.data.frame(t(aa))
```

```
#Normalizar los datos
for(i in 1:length(aa)) { #normalizar por estación (similar a correlación de Pearson)
```

```

aa[[i]] <- (aa[[i]]-mean(aa[[i]]))/sd(aa[[i]])
}

for(i in 1:length(bb)) { #normalizar por mes (variable)
  bb[[i]] <- (bb[[i]]-mean(bb[[i]]))/sd(bb[[i]])
}

#Cálculo de distancias y dendrograma
dm<-dist(t(aa), method="euclidean") #normalizada por estación
dm<-dist(bb, method="euclidean") #normalizada por mes (variable)
dma<-as.dist(dm)

h<-hclust(dma, method="ward")

#GENERAR DENDROGRAMAS
lll<-vector(mode="character",length=722)
plot(h, xlab="", labels=lll, sub="", axes=T)

#mahalanobis
abline(h=38.3, col="orange")
abline(h=37.9, col="green")
abline(h=37.8, col="blue")

#euclidea
abline(h=600, col="orange", lwd=3)
abline(h=400, col="blue", lwd=3)
abline(h=200, col="red", lwd=3)

abline(h=700, col="orange", lwd=3)
abline(h=500, col="blue", lwd=3)
abline(h=400, col="red", lwd=3)

#VALIDACIÓN CLASIFICACIÓN
val<-clusterboot(dma,B=1000,distances=T,clustermethod = disthclustCBI, bootmethod="boot",
method="ward", cut="number", k=7, recover=0.75, count=T, dissolved=0.5)
#comprobacion
vv<-as.vector(val$partition)
bb$vv<-vv

#GENERAR TABLAS PARA EXPORTAR A UN SIG
#Obtener el nombre de las estaciones
d<-dim(a)
dd<-d[2]
ll<-colnames(aa)[4:dd]
b<-matrix(data = NA, nrow =(dd-3) , ncol = 1, byrow = FALSE)
bb<-as.data.frame(b)
bb[,1]<-ll
dendro<-as.dendrogram(h)

```



```
#euclidea est
h600<-cutree(h, h=600)
h400<-cutree(h, h=400)
h200<-cutree(h, h=200)
```

```
bb$cl600<-h600
bb$cl400<-h400
bb$cl200<-h200
```

```
#euclidea var
h700<-cutree(h, h=700)
h500<-cutree(h, h=500)
h400<-cutree(h, h=400)
```

```
bb$cl700<-h700
bb$cl500<-h500
bb$cl400<-h400
```

```
str(bb)
summary(bb)
```

```
#Grabamos las tablas para su representación
write.csv(bb, file="euclidea_est.csv")
write.csv(bb, file="euclidea_var.csv")
```

```
#####CLASIFICACIÓN PCA, DISTANCIA EUCLIDEA, MET.:WARD#####
```

```
rm(list=ls())
```

```
#LEER BASES DE DATOS
```

```
a<-read.csv('BASE_DATOS-dataf.csv', sep=",", header=T) #Series de precipitación
length(a)
aa<-a[,4:length(a)]
bb<-as.data.frame(t(aa))
```

```
#Normalizar los datos
```

```
for(i in 1:length(aa)) { #normalizar por estación (similar a correlación de Pearson)
  aa[[i]] <- (aa[[i]]-mean(aa[[i]]))/sd(aa[[i]])
}
```

```
for(i in 1:length(bb)) { #normalizar por mes (variable)
  bb[[i]] <- (bb[[i]]-mean(bb[[i]]))/sd(bb[[i]])
}
```

```
#ANÁLISIS PCA
```

```
pca <- prcomp(t(aa)) #normalizada por estación
pca <- prcomp(bb) #normalizada por variable
```

```
summary(pca)
dp <- dist(pca$x[,1:10]) #por defecto distancias euclideas; tomamos los 10 primeros CP (65% por
estación / 57% por variable)
h<-hclust(dp, method="ward")
```

### ##DENDROGRAMAS

```
lll<-vector(mode="character",length=722)
plot(h, xlab="", labels=lll, sub="", axes=T)
```

#### #Norm. por estación

```
abline(h=1000, col="orange", lwd=3)
abline(h=500, col="green", lwd=3)
abline(h=250, col="blue", lwd=3)
```

#### #Norm. por variable

```
abline(h=1000, col="orange", lwd=3)
abline(h=800, col="green", lwd=3)
abline(h=500, col="blue", lwd=3)
```

### #VALIDACIÓN CLASIFICACIÓN

```
val<-clusterboot(dp,B=1000,distances=T,clustermethod = disthclustCBI, bootmethod="boot",
method="ward", cut="number", k=8, recover=0.75, count=T, dissolved=0.5)
```

#### #comprobacion

```
vv<-as.vector(val$partition)
bb$vv<-vv
```

### #GENERAR TABLAS PARA EXPORTAR A UN SIG

#### #Obtener el nombre de las estaciones

```
d<-dim(a)
dd<-d[2]
ll<-colnames(aa)[4:dd]
b<-matrix(data = NA, nrow =(dd-3) , ncol = 1, byrow = FALSE)
bb<-as.data.frame(b)
bb[,1]<-ll
dendro<-as.dendrogram(h)
```

#### #Norm. por estación

```
h1000<-cutree(h, h=1000)
h500<-cutree(h, h=500)
h250<-cutree(h, h=250)
```

```
bb$cl1000<-h1000
```

```
bb$cl500<-h500
```

```
bb$cl250<-h250
```

#### #Norm. por variable

```
h1000<-cutree(h, h=1000)
h800<-cutree(h, h=800)
h500<-cutree(h, h=500)
```

```
bb$cl1000<-h1000
bb$cl800<-h800
bb$cl500<-h500
```

```
str(bb)
summary(bb)
```

```
#Grabamos las tablas para su representación
write.csv(bb, file="pca_euc_est.csv")
write.csv(bb, file="pca_euc_var.csv")
```

```
#####CALCULO DE "ESTACIONES MEDIAS" PARA CADA CLUSTER#####
```

```
rm(list=ls())
cl<-read.csv("../Sept_2015/ward_1509.csv", sep="," , header=T) #archivo de clasificación (obtenido
de un hclust -script122013.r-)
cl$EST<-gsub("X","",cl$V1)
bas<-read.csv("../Datos_12.2013/BASE_DATOS.csv", sep="," , header=T) #archivo de datos
originales por estación, año y mes
colnames(bas)[1]<-"EST"
bas2<-merge(x=bas,y=cl,by="EST",all=T) #unir ambas bases de datos polo nome da estación
bas2$cod<-paste(bas2$cl10,"_",bas2$year)
bas2$cod<-paste(bas2$cl9,"_",bas2$year)
bas2$cod<-paste(bas2$cl5,"_",bas2$year)
bas2$cod<-paste(bas2$cl4,"_",bas2$year)
bas2$cod<-paste(bas2$cl3,"_",bas2$year)
```

```
clm<-aggregate(cbind(n1,n2,n3,n4,n5,n6,n7,n8,n9,n10,n11,n12)~cod,bas2,FUN=mean)
```

```
#GENERAR TABLAS CON LAS SERIES TEMP. DE LAS ESTACIONES MEDIAS
```

```
write.csv(clm,file="est_medias_cl10.csv")
write.csv(clm,file="est_medias_cl9.csv")
write.csv(clm,file="est_medias_cl5.csv")
write.csv(clm,file="est_medias_cl4.csv")
write.csv(clm,file="est_medias_cl3.csv")
```

```
#####GRÁFICAS NUM. CLUSTERS VS. DISTANCIA#####
```

```
rm(list=ls())
a<-read.csv('BASE_DATOS-distf12.csv', header=FALSE) #Series de precipitación
```

```
di<-as.dist(a)
hc<-hclust(di, method="ward")
hc<-hclust(di, method="complete")
hc<-hclust(di, method="average")
plot(hc)
```

```
t<-seq(0,50,0.5) #ward
t<-seq(0,1,0.05) #complete
t<-seq(0,0.8,0.05) #average
t<-seq(0,1500,50) #euclidean
t<-seq(0,2000,50) #pca
ta<-matrix(NA,length(t),2)
for (i in 1:length(t)) {
  nh<-cutree(hc, h=t[i])
  ta[i,1]<-t[i]
  ta[i,2]<-max(nh)
}

plot(ta[,2],ta[,1], xlim=c(0,50), type="l", xlab="Num. clusters", ylab="Distancia", cex.lab=1.5,
cex.axis=1.5, lwd=3)
```

#### ANEXO 4. RESUMEN ESTADISTICO DE LA REGIONALIZACIÓN EN CINCO ZONAS

<b>Media</b>	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
Enero	82,41	64,70	38,60	27,48	89,65
Febrero	70,74	64,36	40,69	29,16	78,87
Marzo	64,09	61,32	38,55	32,96	72,27
Abril	57,78	58,33	39,89	38,51	56,67
Mayo	42,33	46,41	38,80	32,53	38,40
Junio	20,70	23,85	22,12	19,95	14,48
Julio	3,75	5,47	6,99	5,69	2,21
Agosto	4,99	7,14	10,68	9,53	5,42
Septiembre	26,98	27,72	27,29	26,57	24,00
Octubre	73,43	58,97	40,60	44,04	72,70
Noviembre	86,90	67,51	39,58	38,41	98,91
Diciembre	96,14	82,39	43,35	34,65	113,13
AÑO	630,25	568,17	387,13	339,49	666,72

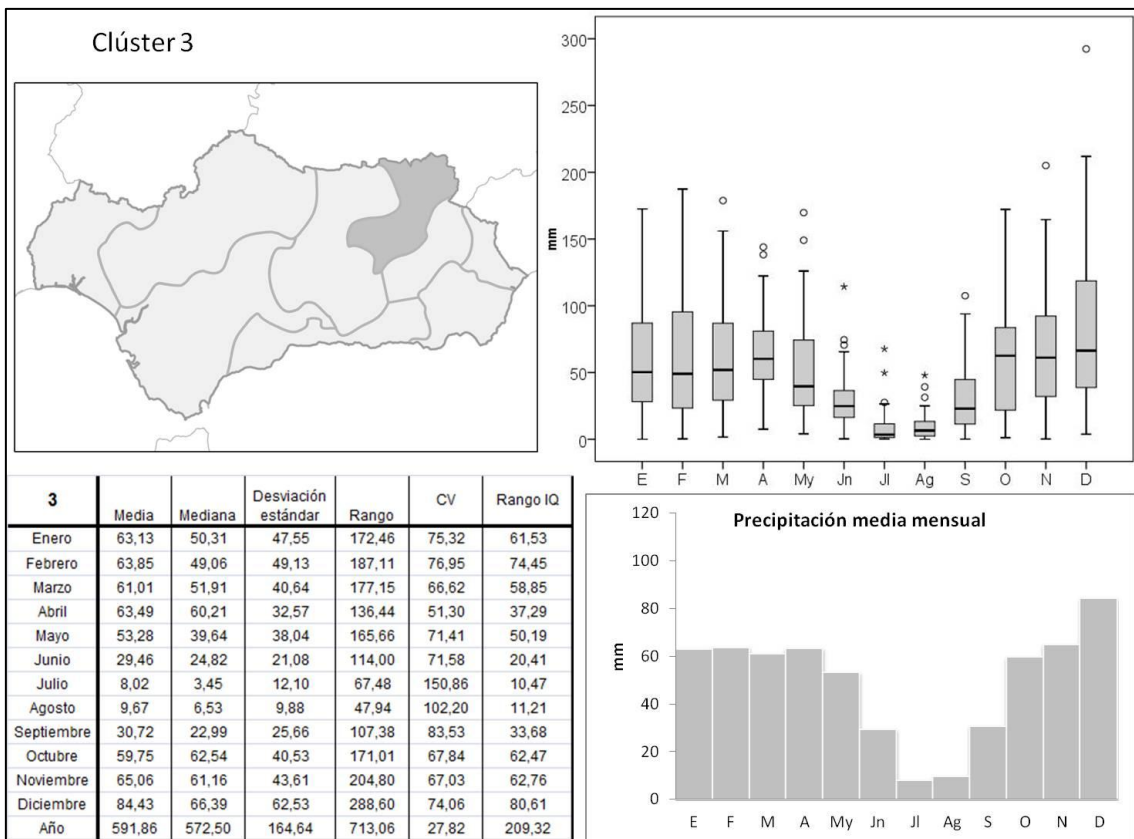
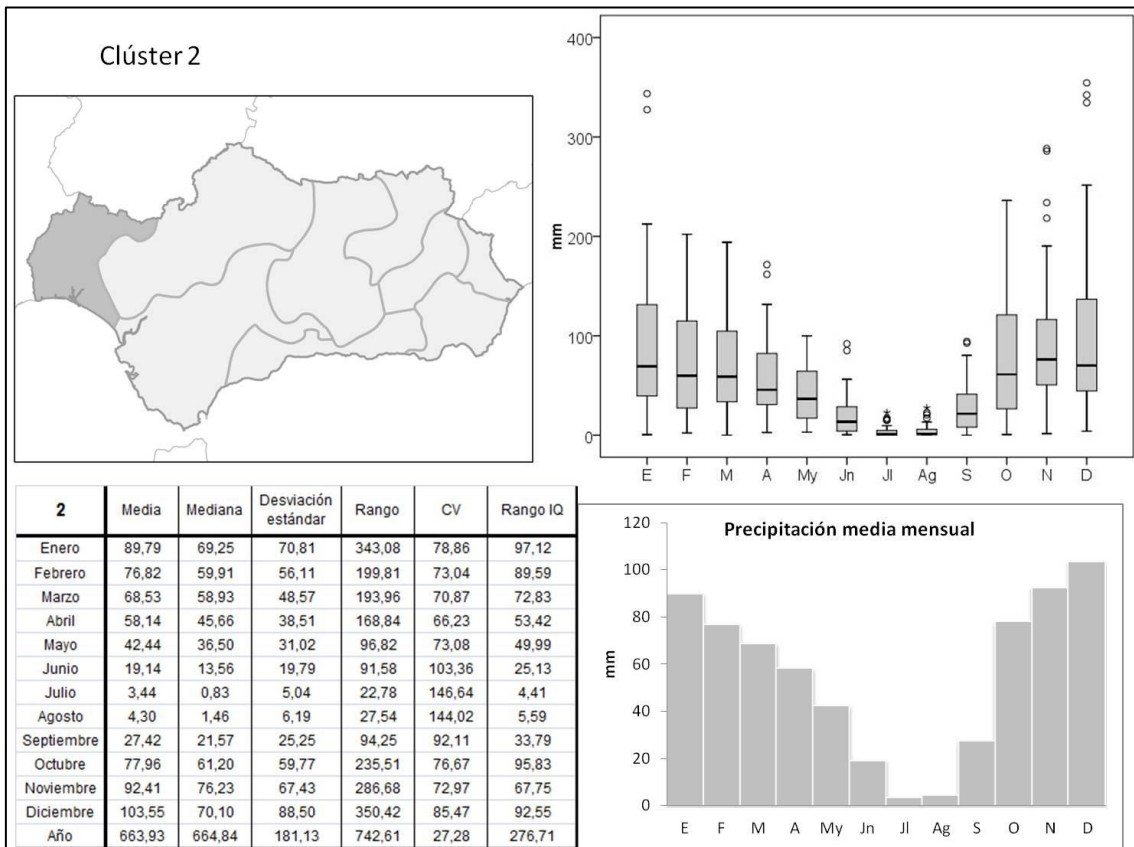
<b>Mediana</b>	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
Enero	68,31	51,87	30,60	19,35	68,43
Febrero	51,82	50,53	35,57	24,19	64,04
Marzo	53,23	52,04	33,55	24,12	62,23
Abril	47,26	52,82	33,44	24,51	46,07
Mayo	35,85	35,09	31,16	30,93	31,62
Junio	16,50	19,00	18,02	14,63	10,85
Julio	1,10	2,13	2,43	3,31	0,77
Agosto	1,93	4,08	7,90	6,51	1,15
Septiembre	23,88	18,18	22,49	20,23	17,36
Octubre	57,83	57,36	33,58	31,39	62,95
Noviembre	74,45	57,23	31,53	28,41	80,54
Diciembre	62,97	65,81	37,06	28,46	87,69
AÑO	601,51	548,05	363,16	331,07	618,11

<b>Rango</b>	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
Enero	311,96	198,65	134,84	79,86	379,43
Febrero	189,59	189,07	136,15	111,14	211,36
Marzo	178,16	199,26	113,24	101,67	233,02
Abril	165,10	131,18	126,43	139,53	185,03
Mayo	101,73	133,13	122,13	111,52	119,73
Junio	87,52	103,53	97,07	108,31	83,83
Julio	34,27	51,02	44,39	33,30	17,75
Agosto	28,58	43,04	81,40	43,99	67,31
Septiembre	97,07	99,72	98,62	155,91	102,10
Octubre	219,27	190,55	119,68	165,05	240,76
Noviembre	262,07	201,29	115,15	124,16	359,17
Diciembre	338,72	279,82	136,92	108,04	435,48
AÑO	740,40	708,65	446,19	563,99	1007,20

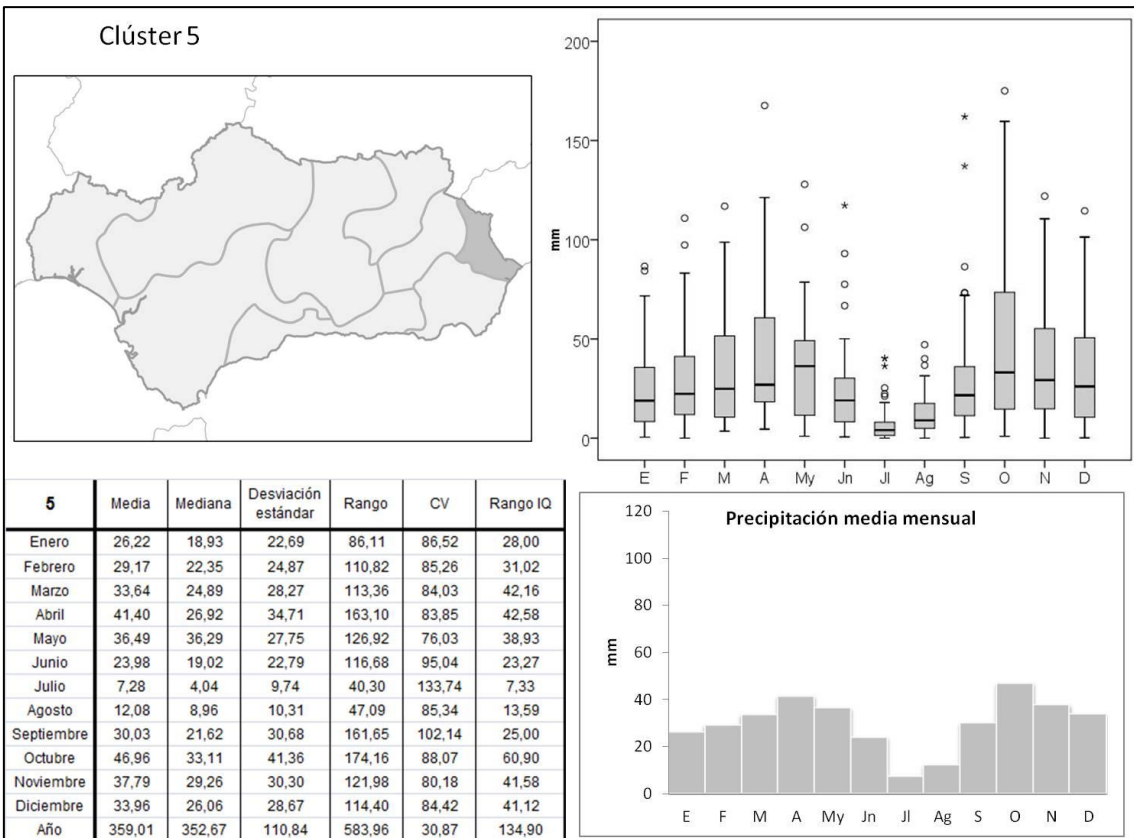
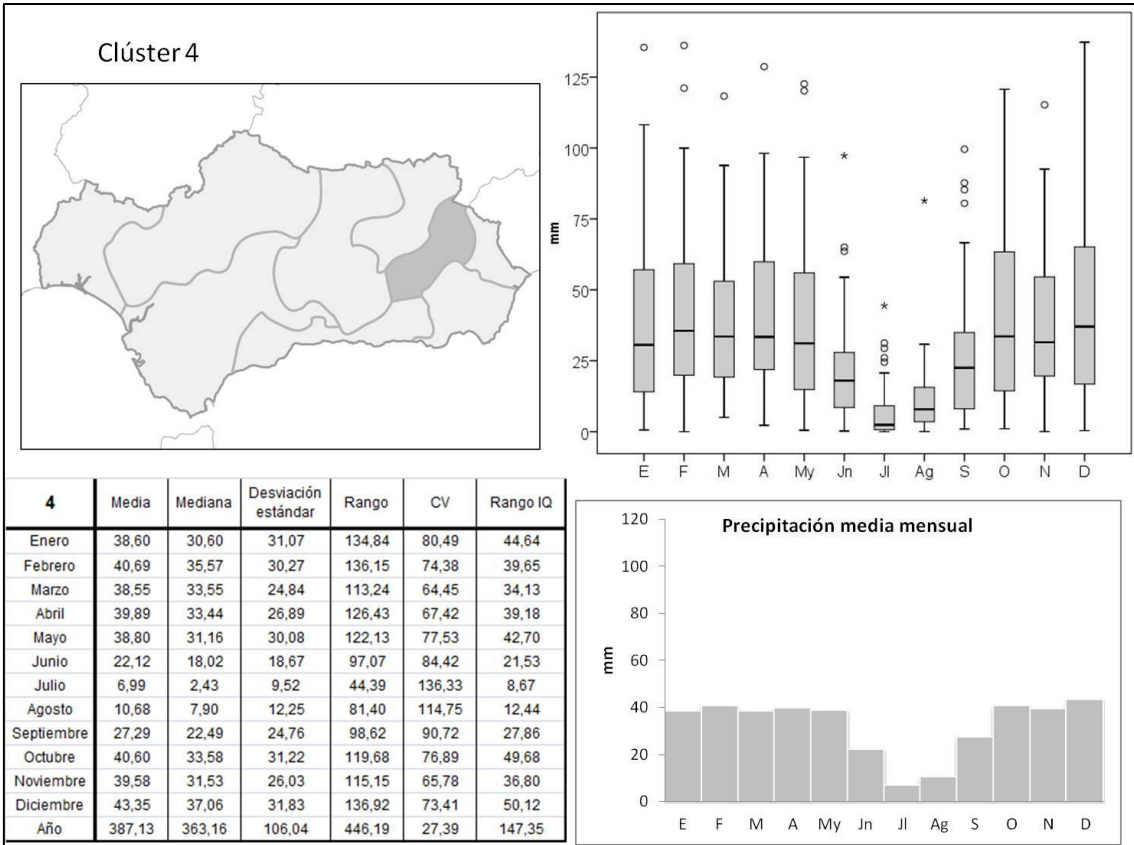
<b>Desviación típica</b>	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5
Enero	67,94	50,83	31,07	23,37	80,20
Febrero	53,30	49,89	30,27	23,94	57,89
Marzo	46,36	41,92	24,84	27,11	49,98
Abril	37,47	31,80	26,89	32,04	38,15
Mayo	30,11	34,43	30,08	25,08	33,35
Junio	19,96	18,42	18,67	19,64	15,96
Julio	5,87	8,47	9,52	7,56	3,78
Agosto	6,34	8,55	12,25	8,59	11,25
Septiembre	24,29	24,67	24,76	28,64	24,09
Octubre	56,79	42,51	31,22	38,67	60,98
Noviembre	64,57	46,64	26,03	29,70	76,11
Diciembre	83,48	62,78	31,83	28,67	98,32
AÑO	174,99	160,93	105,07	104,50	208,90

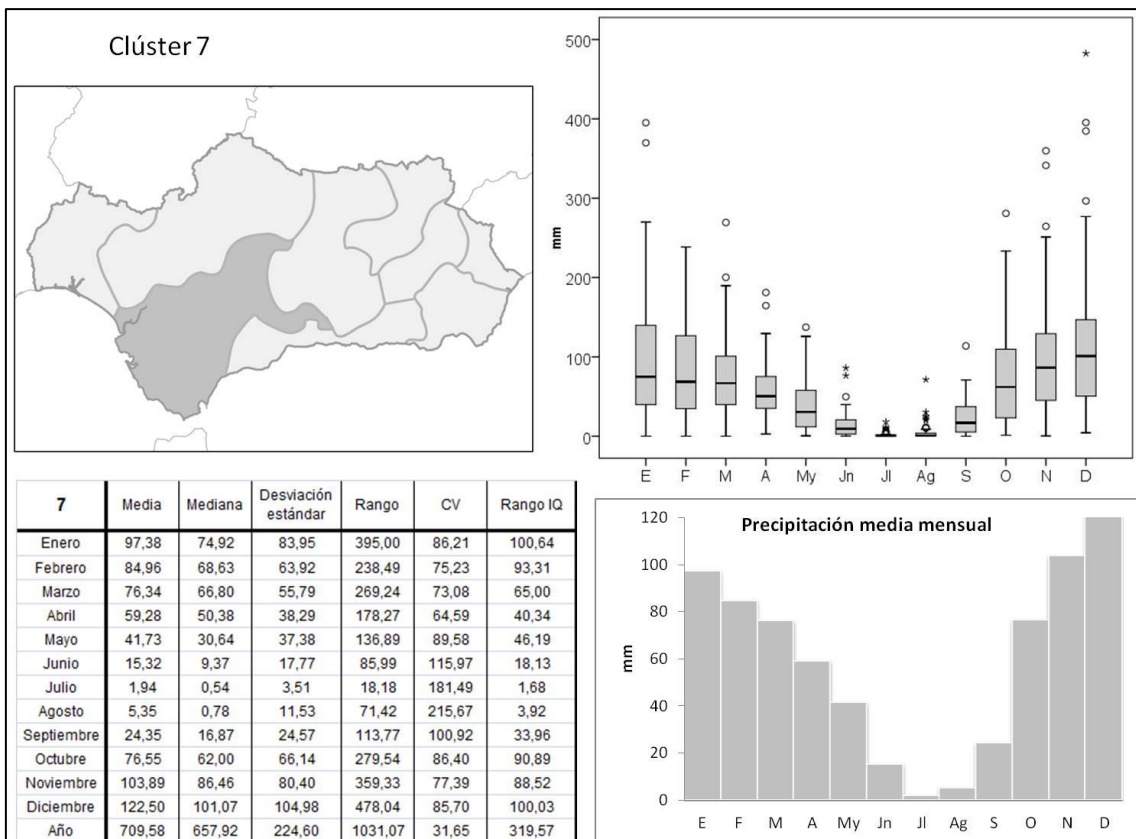
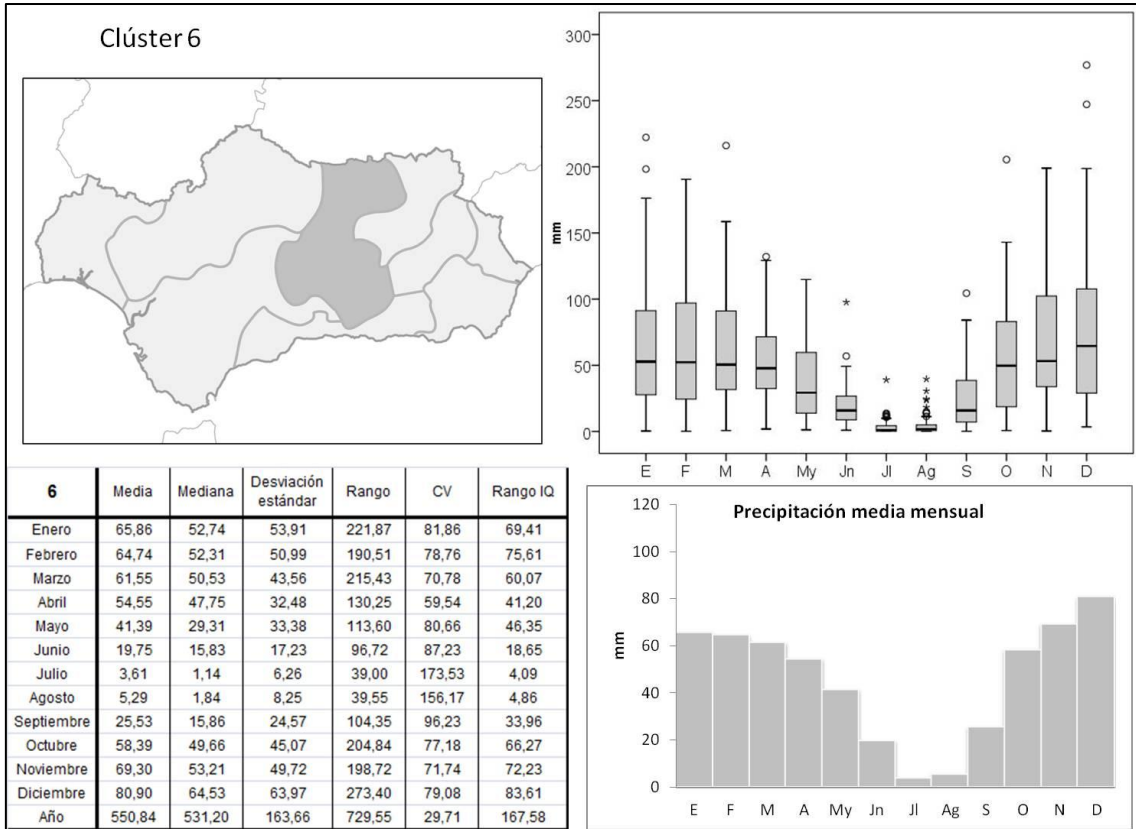
<b>CV</b>	<b>Region 1</b>	<b>Region 2</b>	<b>Region 3</b>	<b>Region 4</b>	<b>Region 5</b>
Enero	82,44	78,55	80,49	85,05	89,46
Febrero	75,35	77,52	74,38	82,11	73,40
Marzo	72,33	68,36	64,45	82,24	69,16
Abril	64,84	54,51	67,42	83,20	67,32
Mayo	71,12	74,20	77,53	77,09	86,84
Junio	96,45	77,23	84,42	98,49	110,23
Julio	156,63	154,79	136,33	132,87	171,37
Agosto	127,03	119,78	114,75	90,21	207,55
Septiembre	90,04	89,00	90,72	107,75	100,38
Octubre	77,34	72,08	76,89	87,80	83,87
Noviembre	74,30	69,08	65,78	77,32	76,94
Diciembre	86,83	76,20	73,41	82,76	86,91
AÑO	27,77	28,33	27,14	30,78	31,33

## ANEXO 5. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DE LA REGIONALIZACIÓN EN NUEVE ZONAS

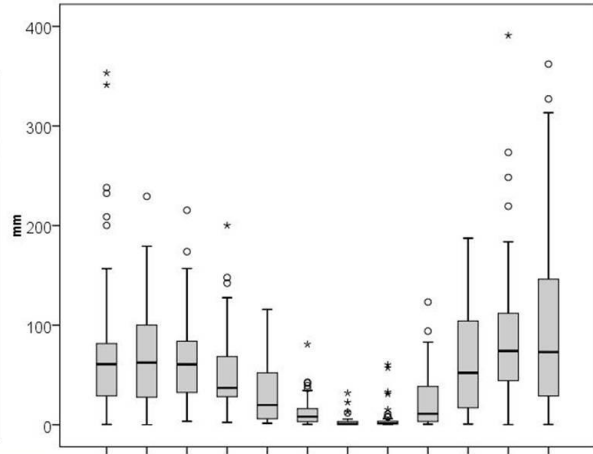




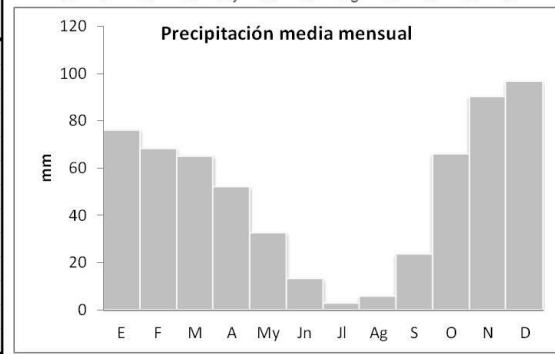




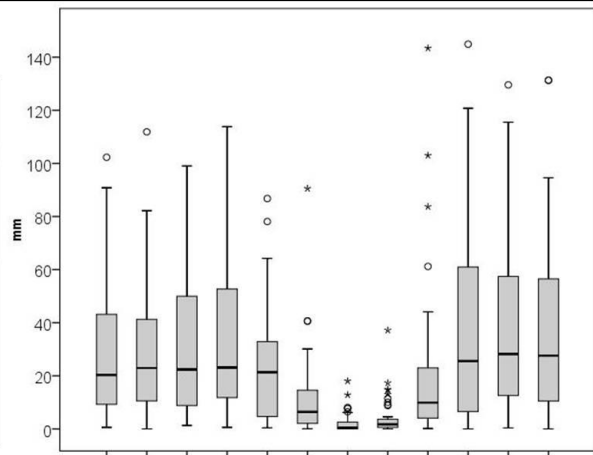
### Clúster 8



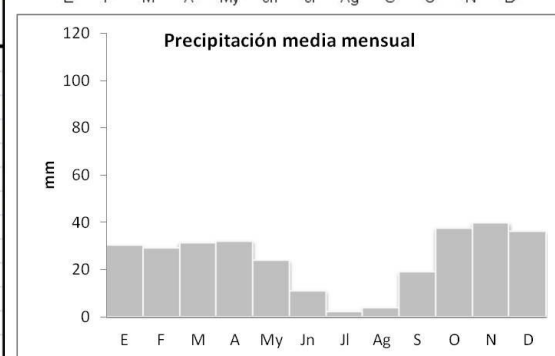
8	Media	Mediana	Desviación estándar	Rango	CV	Rango IQ
Enero	76,28	60,84	77,22	353,04	101,23	56,55
Febrero	68,33	62,39	51,98	229,29	76,07	73,12
Marzo	65,22	60,62	43,48	211,89	66,67	53,48
Abril	52,15	36,96	41,13	197,84	78,86	44,70
Mayo	32,64	19,82	29,73	114,35	91,08	46,71
Junio	13,01	8,05	14,83	80,40	113,92	15,18
Julio	2,67	0,76	5,56	31,89	207,96	3,51
Agosto	5,55	1,50	12,19	60,24	219,58	3,12
Septiembre	23,40	10,99	27,33	122,73	116,82	35,66
Octubre	66,05	52,18	55,48	186,63	83,99	89,94
Noviembre	90,31	74,05	72,94	390,76	80,76	75,74
Diciembre	96,92	72,96	89,06	361,84	91,89	117,92
Año	592,55	536,52	197,64	965,90	33,35	214,56



### Clúster 9



9	Media	Mediana	Desviación estándar	Rango	CV	Rango IQ
Enero	30,27	20,31	28,35	101,72	93,67	40,75
Febrero	29,14	22,96	24,37	111,86	83,63	34,48
Marzo	31,44	22,42	26,44	97,72	84,09	42,42
Abril	32,12	23,13	27,94	113,26	87,00	43,02
Mayo	23,77	21,38	21,70	86,32	91,31	29,38
Junio	11,01	6,43	14,50	90,50	131,68	12,98
Julio	2,16	0,44	3,50	18,05	162,11	2,54
Agosto	3,87	1,74	6,20	37,16	160,01	3,15
Septiembre	18,91	9,91	26,18	143,21	138,40	18,95
Octubre	37,58	25,57	36,03	144,88	95,86	55,14
Noviembre	39,81	28,24	33,67	129,20	84,60	46,02
Diciembre	36,17	27,59	32,34	131,32	89,41	48,03
Año	296,25	278,51	102,73	596,69	34,67	107,44



## ANEXO 6. RESUMEN ESTADISTICO DE LA REGIONALIZACIÓN EN NUEVE ZONAS

Media	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Región 6	Región 7	Región 8	Región 9
Enero	75,44	89,79	63,13	38,60	26,22	65,86	97,38	76,28	30,27
Febrero	65,01	76,82	63,85	40,69	29,17	64,74	84,96	68,33	29,14
Marzo	59,89	68,53	61,01	38,55	33,64	61,55	76,34	65,22	31,44
Abril	57,44	58,14	63,49	39,89	41,40	54,55	59,28	52,15	32,12
Mayo	42,23	42,44	53,28	38,80	36,49	41,39	41,73	32,64	23,77
Junio	22,17	19,14	29,46	22,12	23,98	19,75	15,32	13,01	11,01
Julio	4,05	3,44	8,02	6,99	7,28	3,61	1,94	2,67	2,16
Agosto	5,65	4,30	9,67	10,68	12,08	5,29	5,35	5,55	3,87
Septiembre	26,57	27,42	30,72	27,29	30,03	25,53	24,35	23,40	18,91
Octubre	69,14	77,96	59,75	40,60	46,96	58,39	76,55	66,05	37,58
Noviembre	81,71	92,41	65,06	39,58	37,79	69,30	103,89	90,31	39,81
Diciembre	89,16	103,55	84,43	43,35	33,96	80,90	122,50	96,92	36,17
Año	598,45	663,93	591,86	387,13	359,01	550,84	709,58	592,55	296,25

Mediana	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Región 6	Región 7	Región 8	Región 9
Enero	60,55	69,25	50,31	30,60	18,93	52,74	74,92	60,84	20,31
Febrero	47,90	59,91	49,06	35,57	22,35	52,31	68,63	62,39	22,96
Marzo	47,83	58,93	51,91	33,55	24,89	50,53	66,80	60,62	22,42
Abril	44,90	45,66	60,21	33,44	26,92	47,75	50,38	36,96	23,13
Mayo	36,48	36,50	39,64	31,16	36,29	29,31	30,64	19,82	21,38
Junio	16,11	13,56	24,82	18,02	19,02	15,83	9,37	8,05	6,43
Julio	1,14	0,83	3,45	2,43	4,04	1,14	0,54	0,76	0,44
Agosto	2,14	1,46	6,53	7,90	8,96	1,84	0,78	1,50	1,74
Septiembre	17,95	21,57	22,99	22,49	21,62	15,86	16,87	10,99	9,91
Octubre	57,47	61,20	62,54	33,58	33,11	49,66	62,00	52,18	25,57
Noviembre	64,67	76,23	61,16	31,53	29,26	53,21	86,46	74,05	28,24
Diciembre	58,73	70,10	66,39	37,06	26,06	64,53	101,07	72,96	27,59
Año	575,09	664,84	572,50	363,16	352,67	531,20	657,92	536,52	278,51

<b>Desv. estándar</b>	<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>	<b>Región 4</b>	<b>Región 5</b>	<b>Región 6</b>	<b>Región 7</b>	<b>Región 8</b>	<b>Región 9</b>
Enero	66,10	70,81	47,55	31,07	22,69	53,91	83,95	77,22	28,35
Febrero	51,65	56,11	49,13	30,27	24,87	50,99	63,92	51,98	24,37
Marzo	45,20	48,57	40,64	24,84	28,27	43,56	55,79	43,48	26,44
Abril	37,84	38,51	32,57	26,89	34,71	32,48	38,29	41,13	27,94
Mayo	30,72	31,02	38,04	30,08	27,75	33,38	37,38	29,73	21,70
Junio	21,19	19,79	21,08	18,67	22,79	17,23	17,77	14,83	14,50
Julio	7,24	5,04	12,10	9,52	9,74	6,26	3,51	5,56	3,50
Agosto	7,63	6,19	9,88	12,25	10,31	8,25	11,53	12,19	6,20
Septiembre	24,77	25,25	25,66	24,76	30,68	24,57	24,57	27,33	26,18
Octubre	56,83	59,77	40,53	31,22	41,36	45,07	66,14	55,48	36,03
Noviembre	63,89	67,43	43,61	26,03	30,30	49,72	80,40	72,94	33,67
Diciembre	80,50	88,50	62,53	31,83	28,67	63,97	104,98	89,06	32,34
Año	179,25	181,13	164,64	106,04	110,84	163,66	224,60	197,64	102,73

<b>Rango</b>	<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>	<b>Región 4</b>	<b>Región 5</b>	<b>Región 6</b>	<b>Región 7</b>	<b>Región 8</b>	<b>Región 9</b>
Enero	296,21	343,08	172,46	134,84	86,11	221,87	395,00	353,04	101,72
Febrero	192,41	199,81	187,11	136,15	110,82	190,51	238,49	229,29	111,86
Marzo	181,20	193,96	177,15	113,24	113,36	215,43	269,24	211,89	97,72
Abril	163,19	168,84	136,44	126,43	163,10	130,25	178,27	197,84	113,26
Mayo	111,53	96,82	165,66	122,13	126,92	113,60	136,89	114,35	86,32
Junio	86,82	91,58	114,00	97,07	116,68	96,72	85,99	80,40	90,50
Julio	45,15	22,78	67,48	44,39	40,30	39,00	18,18	31,89	18,05
Agosto	31,83	27,54	47,94	81,40	47,09	39,55	71,42	60,24	37,16
Septiembre	99,73	94,25	107,38	98,62	161,65	104,35	113,77	122,73	143,21
Octubre	236,42	235,51	171,01	119,68	174,16	204,84	279,54	186,63	144,88
Noviembre	252,92	286,68	204,80	115,15	121,98	198,72	359,33	390,76	129,20
Diciembre	346,45	350,42	288,60	136,92	114,40	273,40	478,04	361,84	131,32
Año	768,71	742,61	713,06	446,19	583,96	729,55	1031,07	965,90	596,69

<b>CV</b>	<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>	<b>Región 4</b>	<b>Región 5</b>	<b>Región 6</b>	<b>Región 7</b>	<b>Región 8</b>	<b>Región 9</b>
-----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Enero	87,61	78,86	75,32	80,49	86,52	81,86	86,21	101,23	93,67
Febrero	79,46	73,04	76,95	74,38	85,26	78,76	75,23	76,07	83,63
Marzo	75,47	70,87	66,62	64,45	84,03	70,78	73,08	66,67	84,09
Abril	65,87	66,23	51,30	67,42	83,85	59,54	64,59	78,86	87,00
Mayo	72,75	73,08	71,41	77,53	76,03	80,66	89,58	91,08	91,31
Junio	95,59	103,36	71,58	84,42	95,04	87,23	115,97	113,92	131,68
Julio	178,94	146,64	150,86	136,33	133,74	173,53	181,49	207,96	162,11
Agosto	135,22	144,02	102,20	114,75	85,34	156,17	215,67	219,58	160,01
Septiembre	93,25	92,11	83,53	90,72	102,14	96,23	100,92	116,82	138,40
Octubre	82,19	76,67	67,84	76,89	88,07	77,18	86,40	83,99	95,86
Noviembre	78,19	72,97	67,03	65,78	80,18	71,74	77,39	80,76	84,60
Diciembre	90,28	85,47	74,06	73,41	84,42	79,08	85,70	91,89	89,41
Año	29,95	27,28	27,82	27,39	30,87	29,71	31,65	33,35	34,67

Rango IQ	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Región 6	Región 7	Región 8	Región 9
Enero	82,99	97,12	61,53	44,64	28,00	69,41	100,64	56,55	40,75
Febrero	81,70	89,59	74,45	39,65	31,02	75,61	93,31	73,12	34,48
Marzo	54,96	72,83	58,85	34,13	42,16	60,07	65,00	53,48	42,42
Abril	47,12	53,42	37,29	39,18	42,58	41,20	40,34	44,70	43,02
Mayo	43,56	49,99	50,19	42,70	38,93	46,35	46,19	46,71	29,38
Junio	23,04	25,13	20,41	21,53	23,27	18,65	18,13	15,18	12,98
Julio	5,11	4,41	10,47	8,67	7,33	4,09	1,68	3,51	2,54
Agosto	5,99	5,59	11,21	12,44	13,59	4,86	3,92	3,12	3,15
Septiembre	29,39	33,79	33,68	27,86	25,00	33,96	33,96	35,66	18,95
Octubre	76,93	95,83	62,47	49,68	60,90	66,27	90,89	89,94	55,14
Noviembre	72,46	67,75	62,76	36,80	41,58	72,23	88,52	75,74	46,02
Diciembre	126,14	92,55	80,61	50,12	41,12	83,61	100,03	117,92	48,03
Año	268,22	276,71	209,32	147,35	134,90	167,58	319,57	214,56	107,44

## **ANEXO 7. APLICACIONES Y CASOS PRÁCTICOS SOBRE REGIONALIZACIONES Y REDES DE REFERENCIA CLIMÁTICAS**

Hemos recopilado algunos casos en los que estas técnicas se han aplicado para facilitar la gestión, optimizar recursos o delimitar zonas climáticas, por iniciativa de organismos oficiales. En este sentido queremos recoger la vertiente más aplicada, separándola de aquella motivada por objetivos más científicos que, aunque también se justifican y tienen su sentido al intentar dar aportaciones útiles a la sociedad, no han sido promovidas directamente por instituciones u organismos públicos relacionados con la gestión de los recursos naturales

### **PRIMER CASO: United States Department of the Interior (DOI). Greater Yellowstone Area (GYA)**

Fuente: Tercek, M., S. Gray, et al. (2012). "Climate Zone Delineation: Evaluating Approaches for Use in Natural Resource Management." Environmental Management **49**(5): 1076-1091.

El Departamento del Interior de EEUU tiene la capacidad de establecer zonas climáticas, definidas como unidades geográficas básicas para la gestión y el establecimiento de programas de seguimiento de los recursos naturales del oeste de los Estados Unidos. El **Servicio de Parques Nacionales** ha puesto a punto una nueva metodología para la delimitación de zonas climáticas que servirá de modelo para las restantes agencias del Departamento del Interior. Todo esto se enmarca dentro de un cambio en la política de este departamento ante la constatación de la dificultad de gestionar los recursos naturales en base a límites administrativos o jurisdiccionales; por ello, se está optando recientemente desde 2009, por desarrollar programas de seguimiento científico o de manejo basados en unidades naturales como cuencas, aéreas de distribución de especies o ecosistemas.

Las zonas climáticas identificadas también servirán para asesorar los impactos del cambio climático sobre las aguas y los recursos biológicos y culturales. Esta experiencia en el Greater Yellowstone Area supone una gran aportación que ejemplifica cómo principios *claros* en el mundo de la investigación pueden aplicarse en el ámbito de la planificación y gestión ambiental. Las múltiples justificaciones y ventajas que aporta esta metodología presentan un gran paralelismo con Andalucía.

### **SEGUNDO CASO: California Climate Tracker**

Para lograr los objetivos de seguimiento y apoyo a la gestión ambiental se han desarrollado en algunas administraciones herramientas de análisis operativas como el **California Climate Tracker** (<http://www.wrcc.dri.edu/monitor/cal-mon/>), que bajo el lema "Seguimiento de la variabilidad y cambios del clima para el Estado", ofrece la información necesaria para la comprensión y gestión del clima.

### **TERCER CASO: Mesonet (Oklahoma Climatological Survey)**

Fuente: <https://www.mesonet.org/>

El clima en Oklahoma es variable y dinámico y general impactos importantes en los habitantes del estado. El Oklahoma Climatological Survey es el organismo encargado del seguimiento del tiempo y el clima en las grandes llanuras meridionales de los Estados Unidos. Además, su labor de investigación está ligada a una serie de mandatos legislativos que incluyen:

- Realizar estudios e informes sobre los fenómenos meteorológicos y climáticos de importancia socioeconómica para el estado.
- Evaluar la significación de los cambios naturales o inducidos por el hombre que pueden llegar a afectar al tiempo o el clima del estado, e informar de ello a las agencias y organismos del estado que sean responsables de las áreas que puedan verse afectadas por dichos cambios.

A su vez, el conocimiento adquirido mediante estos proyectos de investigación se usa para generar instrumentos que permitan predecir de forma más precisa las sequías, desarrollar nuevas tecnologías para el seguimiento del tiempo y el clima y mejorar la predicción meteorológica.

### **CUARTO CASO: Australia's Reference Climate Station Network**

Fuente: <http://www.bom.gov.au/climate/change/reference.shtml>

La **red de estaciones meteorológicas de referencia de Australia** se ha diseñado para hacer posible un seguimiento del clima de calidad a largo plazo, especialmente en lo que se refiere al estudio del cambio climático. Dicha red se estableció como respuesta a la petición expresa de la Organización Meteorológica Mundial a todos sus estados miembros en 1990.

Esta red está formada por aproximadamente 100 estaciones, seleccionadas de la red de observación australiana preexistente. Los criterios para la selección de las estaciones incluyen:

- Registros climáticos de calidad y para periodos largos
- Estaciones alejadas de zonas muy urbanizadas, y
- Una probabilidad razonable de que continúen en funcionamiento a largo plazo.

En concreto, la ubicación de las estaciones que forman esta red de referencia se muestra en el siguiente mapa, tal como estaba configurada en octubre de 2007:





Esta red es inspeccionada regularmente por especialistas entrenados para asegurar que sus registros mantienen el nivel de calidad requerido. También se generan informes detallados de cualquier cambio acaecido en la estación o sus alrededores, para poder tomar medidas que aseguren que la calidad de los registros no queda comprometida. Todo ello, en el convencimiento de que una red de observación adecuada y bien mantenida es importante no sólo para la comunidad científica sino también para la agricultura, turismo, industria y la sociedad en general.

#### **QUINTO CASO: United States Climate Reference Network (USCRN)**

Fuente: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/land-based-station-data/land-based-datasets/us-climate-reference-network-uscrn>

La **red climática de referencia de los Estados Unidos** (U.S. Climate Reference Network (USCRN)) es una red sistemática de estaciones meteorológicas que se extiende por todo el territorio de Estados Unidos, incluyendo Alaska y Hawaii. Estas estaciones usan instrumentos de gran calidad para registrar información de temperatura, precipitación, velocidad del viento, condiciones del suelo, etc...

El objetivo de esta red es proporcionar una serie continua de observaciones climáticas para el seguimiento de las tendencias en el clima de los Estados Unidos que sean la base de la investigación sobre el posible impacto del cambio climático.

Las estaciones de esta red son gestionadas y mantenidas por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).