

UNIVERSITAT DE BARCELONA

Departament de Geografia Física  
i  
Anàlisi Geogràfica Regional

**PERSISTENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA COMUNIDAD  
AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO A PARTIR DE MODELOS  
MARKOVIANOS. REGIONALIZACIÓN MEDIANTE SIG**

*Memoria presentada por*

**Pablo FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE HERNÁEZ**

*Para optar al título de doctor en Geografía*

Programa de doctorado en:

***“Geografía Física y Planificació Ambiental”***

Bienio 1998-2000

*Directores de Tesis*

**Dr. Javier Martín Vide**

*Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional,  
Universitat de Barcelona*

**Dr. Juan Carlos García Codrón**

*Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio,  
Universidad de Cantabria*

Julio de 2005



---

# INDICE



---

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
1. Justificación del estudio	22
2. La complejidad de la variable estudiada	24
3. Hipótesis y objetivos	26
4. Metodología	29
4.1. Algunas indicaciones preliminares	29
4.2. Contenidos metodológicos	30
4.3. Estructura de la obra	35
<b>CAPÍTULO II. ESTADO DE LA CUESTIÓN</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO III. LAS FUENTES DE DATOS</b>	<b>53</b>
1. La red de observación	55
1.1. Situación de las estaciones meteorológicas	57
1.2. Distribución altitudinal de los observatorios	59
1.3. Periodo de estudio y límites estacionales	61
1.4. La componente humana de los datos climáticos	64
2. Las series climatológicas	76
2.1. Estadística descriptiva sobre el número de registros	79
2.2. Calidad y precisión en las series de datos	81
2.2.1. La calidad de las series	81
2.2.2. La precisión de los datos	86
<b>CAPÍTULO IV. LA PLUVIOMETRÍA EN EL PAÍS VASCO</b>	<b>93</b>
1. Tratamiento metodológico de la variable precipitación	95
1.1. Los totales absolutos	95
1.2. La precipitación y los factores geográficos	95
1.3. El módulo y la intensidad pluviométrica media	96
1.4. La frecuencia diaria de la precipitación	97
1.5. Las precipitaciones extremas diarias	97
2. Definición de los regímenes pluviométricos	98
2.1. El marco peninsular	98

2.2. La tipificación de los regímenes pluviométricos	99
a) La definición de los periodos estacionales	99
b) Elaboración de los cálculos	99
c) Codificación y tipificación de los observatorios	100
2.3. Interpolación y regionalización climática	100
3. Caracterización pluviométrica del País Vasco	101
3.1. La disimetría pluviométrica	101
3.2. La precipitación y los factores geográficos	104
3.3. Análisis de los valores medios	107
3.4. El número de días de lluvia	110
3.5. Distribución de las precipitaciones máximas	116
4. Transición climática y regímenes pluviométricos en el País Vasco	120
4.1. Distribución espacial de los regímenes pluviométricos	120
4.2. Régimen IOPV	123
4.3. Régimen OIPV	123
4.4. Régimen OPIV	125
4.5. Régimen POIV	126
<b>CAPÍTULO V. LA DIVERSIDAD DE LAS ESTRUCTURAS PLUVIOMÉTRICAS EN EL PAÍS VASCO</b>	<b>129</b>
1. Desarrollo metodológico para el análisis de las rachas lluviosas	131
1.1. El concepto de racha o secuencia lluviosa	131
1.2. La definición de los umbrales de corte	131
1.3. La estructura pluviométrica	134
1.3.1. Los indicadores numéricos de la estructura	134
1.3.2. La tipificación de la estructura pluviométrica	137
1.3.3. La regionalización a partir de técnicas geoestadísticas	139
1.3.4. Las secuencias más longevas	139
2. Las estructuras pluviométricas y los umbrales de corte: diversidad y distribución espacial	140
2.1. La racha como unidad de análisis	140
a) Umbral de 1 mm/día	140
b) Umbral de 5 mm/día	150
c) Umbral de 10 mm/día	158
2.2. La estructura pluviométrica: tipologías, frecuencia y duración	164
2.2.1. La estructura tipo A: alta frecuencia y duración	166
2.2.2. La estructura tipo B: alta frecuencia y escasa duración	166

2.2.3. La estructura tipo C: baja frecuencia y alta duración	167
2.2.4. La estructura tipo D: reducida frecuencia y duración	167
2.3. La distribución espacial de las estructuras pluviométricas	169
a) Umbral de 1 mm/día	169
b) Umbral de 5 mm/día	171
c) Umbral de 10 mm/día	172
2.4. La longevidad de las rachas y la circulación atmosférica	173
a) Umbral de 1 mm/día	173
b) Umbral de 5 mm/día	178
c) Umbral de 10 mm/día	182
<b>CAPÍTULO VI. PROBABILIDAD Y PERSISTENCIA EMPÍRICA DE LA PRECIPITACIÓN EN EL PAÍS VASCO</b>	<b>185</b>
1. Las probabilidades empíricas de las rachas	187
1.1. Probabilidades empíricas por <i>tipo de racha</i>	188
1.2. Probabilidades empíricas por <i>categorías</i>	189
2. Factores geográficos y probabilidad empírica de las rachas	190
2.1. El carácter discreto de las probabilidades de ocurrencia	190
a) Umbral de 1 mm/día	191
b) Umbral de 5 mm/día	194
c) Umbral de 10 mm/día	196
2.2. La singularidad de las rachas de un día	198
a) Umbral de 1 mm/día	198
b) Umbral de 5 mm/día	204
c) Umbral de 10 mm/día	208
3. Las transiciones lluviosas: concepto y metodología de estudio	213
3.1. Definiendo una transición lluviosa	213
3.2. El cálculo de las probabilidades de las transiciones	215
4. La precipitación en el País Vasco: un fenómeno persistente	218
a) Umbral de 1 mm/día	220
b) Umbral de 5 mm/día	222
c) Umbral de 10 mm/día	224
<b>CAPÍTULO VII. LA REALIDAD MARKOVIANA EN EL PAÍS VASCO</b>	<b>227</b>
1. Los modelos markovianos aplicados a la precipitación	229
1.1. La formulación teórica de las probabilidades markovianas	229
1.2. Las frecuencias teóricas absolutas	234

1.3. La bondad del ajuste global de las distribuciones	236
1.4. Modelos markovianos <i>versus</i> estructuras y regímenes pluviométricos	238
1.5. Regionalización de la persistencia conforme a Markov	239
2. Aplicación de los modelos markovianos al análisis de la persistencia en el País Vasco	239
2.1. Aplicación de Markov a las estaciones meteorológicas vascas	239
2.2. Confrontación de las frecuencias teóricas y empíricas	242
2.3. La bondad de los primeros ajustes a los modelos markovianos	245
a) Umbral de 1 mm/día	246
b) Umbral de 5 mm/día	258
c) Umbral de 10 mm/día	261
2.4. Ordenes markovianos, estructuras y regímenes pluviométricos	261
a) Umbral de 1 mm/día	263
b) Umbral de 5 mm/día	264
c) Umbral de 10 mm/día	265
2.5. Regionalización de los días lluviosos según Markov	267
a) Umbral de 1 mm/día	267
b) Umbral de 5 mm/día	268
c) Umbral de 10 mm/día	270
<b>CAPÍTULO VIII. LA PERSISTENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL PAIS VASCO</b>	273
<b>CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES</b>	317
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	327
<b>ANEXO CARTOGRÁFICO</b>	342
<b>ANEXO DIGITAL</b>	



---

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Localización de las estaciones meteorológicas

**Tabla 2.** Altitud de las estaciones meteorológicas

**Tabla 3.** Número potencial y real de datos, por estaciones astronómicas

**Tabla 4.** Número real de datos registrados, por observatorio meteorológico y época estacional

**Tabla 5.** Número de datos registrados en los observatorios

**Tabla 6.** Coeficiente de variación del número de datos registrados

**Tabla 7.** Totales absolutos de precipitación, por observatorio (1965-1994)

**Tabla 8.** Valores medios de precipitación, por observatorio (1965-1994)

**Tabla 9.** Días de lluvia y media anual del número de días de lluvia, por estaciones (1965-1994)

**Tabla 10.** Regímenes pluviométricos, por observatorio. 1965-1994

**Tabla 11.** Análisis de correlación entre los totales de racha, la racha media y la posición geográfica, para el umbral de 1 mm/día

**Tabla 12.** Análisis de correlación entre los totales de racha, la racha media y la posición geográfica, para el umbral de 5 mm/día

**Tabla 13.** Análisis de correlación entre los totales de racha, la racha media y la posición geográfica, para el umbral de 10 mm/día

**Tabla 14.** Frecuencia de los tipos pluviométricos, por umbrales de corte

**Tabla 15.** Tipos de circulación atmosférica, del 21 de enero al 4 de febrero de 1968

**Tabla 16.** Otros periodos lluviosos, para el umbral de 1 mm/día

**Tabla 17.** Tipos de circulación atmosférica, del 8 al 26 de abril de 1990

**Tabla 18.** Otros periodos lluviosos, para el umbral de 5 mm/día

**Tabla 19.** Otros periodos lluviosos, para el umbral de 10 mm/día

**Tabla 20.** Coeficientes de correlación, según Pearson, para el umbral de corte de 1 mm/día, por probabilidades empíricas y localización geográfica

**Tabla 21.** Tramos de probabilidad de ocurrencia empírica para cada tipo de racha, para el umbral de corte de 1 mm/día

**Tabla 22.** Coeficientes de correlación, según Pearson, para el umbral de corte de 5 mm/día, por probabilidades empíricas y localización geográfica

**Tabla 23.** Tramos de probabilidad de ocurrencia empírica para cada tipo de racha, para el umbral de corte de 5 mm/día

**Tabla 24.** Coeficientes de correlación, según Pearson, para el umbral de corte de 10 mm, por probabilidades empíricas y localización geográfica

**Tabla 25.** Tramos de probabilidad de ocurrencia empírica para cada tipo de racha, para el umbral de corte de 10 mm/día

**Tabla 26.** Probabilidades markovianas en la estación de Carranza, bajo el umbral de 1 mm/día

**Tabla 27.** Probabilidades markovianas en la estación de Carranza, bajo el umbral de 5 mm/día

**Tabla 28.** Probabilidades markovianas en la estación de Carranza, bajo el umbral de 10 mm/día

**Tabla 29.** Frecuencias absolutas teóricas (Carranza 1093), bajo el umbral de 1 mm/día

**Tabla 30.** Frecuencias absolutas teóricas(Carranza 1093), bajo el umbral de 5 mm/día

**Tabla 31.** Frecuencias absolutas teóricas (Carranza 1093), bajo el umbral de 10 mm/día

**Tabla 32.** Número de observatorios ajustados, por orden markoviano y por umbral de corte

**Tabla 33.** Ajustes aceptables de los modelos markovianos para el umbral de 1 mm/día, por estaciones

**Tabla 34.** Ajustes aceptables de los modelos markovianos para el umbral de 5 mm/día, por estaciones

**Tabla 35.** Regímenes pluviométricos, estructuras pluviométricas y primeros ajustes markovianos, por umbrales de corte

**Tabla 36.** Análisis de componentes principales: Comunalidades. Umbral de 1 mm/día

**Tabla 37.** Análisis de componentes principales: Varianza total explicada. Umbral de 1 mm/día

**Tabla 38.** Análisis de componentes principales: Matriz de componentes. Umbral de 1 mm/día

**Tabla 39.** Análisis de componentes principales: Comunalidades. Umbral de 5 mm/día

**Tabla 40.** Análisis de componentes principales: Varianza total explicada. Umbral de 5 mm/día

**Tabla 41.** Análisis de componentes principales: Matriz de componentes. Umbral de 5 mm/día

**Tabla 42.** Análisis de componentes principales: Comunalidades. Umbral de 10 mm/día

**Tabla 43.** Análisis de componentes principales: Varianza total explicada. Umbral de 10 mm/día

**Tabla 44.** Análisis de componentes principales: Matriz de componentes. Umbral de 10 mm/día

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

**Gráficos 1 y 2.** Método de las dobles masas, en los observatorios de Ategorrieta y Salinas de Añana

**Gráficos 3 y 4.** Método de las dobles masas, en los observatorios de Archua y Betolaza

**Gráficos 5 y 6.** Método de las dobles masas, en los observatorios de Fuenterrabía y Salvatierra

**Gráfico 7.** Método de las dobles masas, en el observatorio de Izarra

**Gráficos 8 y 9.** Método de las dobles masas, en los observatorios de Barrón y Escoriaza

**Gráficos 10 y 11.** Método de las dobles masas, en los observatorios de Fuenterrabía y Salvatierra

**Gráficos 12 y 13.** Test del índice de precisión real, para los observatorios de Escoriaza y Barrón

**Gráficos 14 y 15.** Test del Índice de Precisión Real, para los observatorios de Aranzazu(v) y Salinas de Añana

**Gráficos 16 y 17.** Test del índice de precisión real, para los observatorios de Lagrán y Peñacerrada

**Gráficos 18 y 19.** Test del índice de precisión real, para los observatorios de Betolaza y Puentelarra

**Gráficos 20 y 21.** Test del índice de precisión real, para los observatorios de Igueldo y Sondica

**Gráficos 22 y 23.** Relación entre la precipitación y la latitud y la longitud geográficas

**Gráfico 24.** Relación entre la precipitación y la altitud

**Gráficos 25 y 26.** Diagramas de dispersión para las variables altitud y precipitación en las dos vertientes hidrográficas de la CAPV

**Gráficos 27, 28, 29 y 30.** Modelos de dispersión de estructuras pluviométricas tipo

**Gráfico 31.** Número de secuencias lluviosas entre 4 y 9 días en la CAPV, para el umbral de 1 mm/día

- Gráfico 32.** Número de secuencias lluviosas entre 10 y 15 días en la CAPV, para el umbral de 1 mm/día
- Gráfico 33.** Número de secuencias lluviosas entre 4 y 9 días en la CAPV, para el umbral de 5 mm/día
- Gráfico 34.** Número de secuencias lluviosas entre 10 y 15 días en la CAPV, para el umbral de 5 mm/día
- Gráfico 35.** Número de secuencias lluviosas entre 2 y 9 días en la CAPV, para el umbral de 10 mm/día
- Gráfico 36.** Tipos de circulación atmosférica, del 17 de enero al 16 de febrero de 1978
- Gráfico 37.** Tipos de circulación atmosférica, del 10 al 31 de octubre de 1974
- Gráfico 38.** Tipos de circulación atmosférica, del 1 al 26 de abril de 1990
- Gráfico 39.** Tipos de circulación atmosférica, del 24 de diciembre de 1967 al 4 de enero de 1968
- Gráfico 40.** Tipos de circulación atmosférica, del 16 al 26 de mayo de 1984
- Gráfico 41.** Tipos de circulación atmosférica, del 25 de marzo al 7 de abril de 1979
- Gráfico 42.** Tipos de circulación atmosférica, del 22 de enero al 1 de febrero de 1986
- Gráfico 43.** Tipos de circulación atmosférica, del 24 de diciembre de 1967 al 4 de enero de 1968
- Gráfico 44.** Curvas de persistencia empírica de la precipitación, bajo el umbral de 1 mm/día
- Gráfico 45.** Curvas de persistencia empírica de la precipitación, bajo el umbral de 5 mm/día
- Gráfico 46.** Curvas de persistencia empírica de la precipitación, bajo el umbral de 10 mm/día
- Gráficos 47, 48, 49 y 50.** Colas de las distribuciones de frecuencias bajo el umbral de 1 mm/día, por observatorios
- Gráficos 51 y 52.** Colas de las distribuciones de frecuencias bajo el umbral de 1 mm/día, por observatorios

**Gráficos 53 y 54.** Colas de las distribuciones de frecuencias bajo el umbral de 1 mm/día, por observatorios

**Gráficos 55, 56, 57, 58, 59 y 60.** Colas de las distribuciones de frecuencias bajo el umbral de 1 mm/día, por observatorios

**Gráfico 61.** Colas de las distribuciones de frecuencias bajo el umbral de 1 mm/día, por observatorios

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Probabilidades empíricas de ocurrencia de rachas de 2 a 10 días de duración, para el umbral de 1mm/día

**Figura 2.** Probabilidades empíricas de ocurrencia de rachas de 2 a 6 días de duración, para el umbral de 5 mm/día

**Figura 3.** Probabilidades empíricas de ocurrencia de rachas de 2 a 4 días de duración, para el umbral de 10 mm/día

## ÍNDICE DEL ANEXO CARTOGRÁFICO

- Mapa 1.** Localización geográfica de los observatorios meteorológicos
- Mapa 2.** Localización geográfica de los observatorios por franjas altitudinales
- Mapa 3.** Precipitación registrada en la CAPV durante el periodo 1965-1994
- Mapa 4.** Intensidad media de la precipitación en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 5.** Módulo pluviométrico medio en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 6.** Días de lluvia anuales por observatorio en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 7.** Días de lluvia en la estación de primavera en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 8.** Días de lluvia en la estación de verano en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 9.** Días de lluvia en la estación de otoño en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 10.** Días de lluvia en la estación de invierno en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 11.** Máxima precipitación diaria: primavera (periodo 1965-1994)
- Mapa 12.** Máxima precipitación diaria: verano (periodo 1965-1994)
- Mapa 13.** Máxima precipitación diaria: otoño (periodo 1965-1994)
- Mapa 14.** Máxima precipitación diaria: invierno (periodo 1965-1994)
- Mapa 15.** Regímenes pluviométricos en la CAPV (periodo 1965-1994)
- Mapa 16.** Longitud de la “racha media” bajo el umbral de 1 mm/día (periodo 1965-1994)



- Mapa 17.** Rachas más longevas bajo el umbral de 1 mm/día (periodo 1965-1994)
- Mapa 18.** Longitud de la “racha media” bajo el umbral de 5 mm/día (periodo 1965-1994)
- Mapa 19.** Rachas más longevas bajo el umbral de 5 mm/día (periodo 1965-1994)
- Mapa 20.** Longitud de la “racha media” bajo el umbral de 10 mm/día (periodo 1965-1994)
- Mapa 21.** Rachas más longevas bajo el umbral de 10 mm/día (periodo 1965-1994)
- Mapa 22.** Las estructuras pluviométricas. Umbral de 1 mm/día (periodo 1965-1994). Técnica de interpolación del vecino más próximo
- Mapa 23.** Las estructuras pluviométricas. Umbral de 5 mm/día (periodo 1965-1994). Técnica de interpolación del vecino más próximo
- Mapa 24.** Las estructuras pluviométricas. Umbral de 10 mm/día (periodo 1965-1994). Técnica de interpolación del vecino más próximo
- Mapa 25.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “un día”. Umbral de 1 mm/día
- Mapa 26.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “corta duración”. Umbral de 1 mm/día
- Mapa 27.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “duración media”. umbral de 1 mm/día
- Mapa 28.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “larga duración”. Umbral de 1 mm/día
- Mapa 29.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “muy larga duración”. Umbral de 1 mm/día
- Mapa 30.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “un día”. Umbral de 5 mm/día
- Mapa 31.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “corta duración”. Umbral de 5 mm/día
- Mapa 32.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “duración media”. umbral de 5 mm/día
- Mapa 33.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “larga duración”. Umbral de 5 mm/día

**Mapa 34.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “muy larga duración”. Umbral de 5 mm/día

**Mapa 35.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “un día”. Umbral de 10 mm/día

**Mapa 36.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “corta duración”. Umbral de 10 mm/día

**Mapa 37.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “duración media”. umbral de 10 mm/día

**Mapa 38.** Probabilidad de ocurrencia de las rachas de “larga duración”. Umbral de 10 mm/día

**Mapa 39.** Ordenes markovianos que logran los primeros ajustes bajo el umbral de 1 mm/día

**Mapa 40.** Ordenes markovianos que logran los primeros ajustes bajo el umbral de 5 mm/día

**Mapa 41.** Ordenes markovianos que logran los primeros ajustes bajo el umbral de 10 mm/día