

Índice General

AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 La física de la precipitación	14
1.2 Necesidad de modelos	19
1.3 El porqué del estudio de modelos de simulación de precipitación en la escala diaria	21
1.4 Sobre la información pluviométrica empleada.....	22
1.5 Objetivos y contribuciones de la tesis	24
1.6 Organización de este documento.....	26
I EVALUACIÓN DE MODELOS ESTOCÁSTICOS TEMPORALES DE SIMULACIÓN CONTÍNUA A ESCALA DIARIA	19
2 ANTECEDENTES I	20
2.1 Introducción.....	21
2.2 Proceso de ocurrencia de precipitación	23
2.3 Duración de los episodios de precipitación.....	26
2.4 Cantidad de precipitación	27
3 MODELO BASADO EN PROCESOS DE POISSON	30
3.1 Introducción.....	21
3.2 Procesos de Poisson.....	23
3.3 Definición axiomática del Proceso de Poisson. Generalizaciones	26
3.4 Propuesta de un modelo matemático para SIMULACIÓN de precipitación diaria	27
3.4.1 Estudio del proceso de ocurrencia de eventos	35
3.4.2 Estudio de la duración de los episodios de precipitación.....	35
3.4.3 Estudio de la cantidad de precipitación diaria.....	36
3.5 Series de datos empleadas en este capítulo	39
3.6 Estimación de parámetros Aplicación en simulación de precipitación diaria ...	42
3.7 Aplicación en simulación de precipitación diaria. Validación del modelo	46
3.7.1 Reproducción de máximos	39
3.8 Conclusiones.....	52

4	COMPARACIÓN CON UN MODELO MARKOVIANO DE PRIMER ORDEN	54
4.1	Formulación markoviana.....	21
4.1.1	<i>Cadenas de Markov discretas. Definición.....</i>	55
4.1.2	<i>Cadenas de Markov y procesos de Poisson.....</i>	56
4.1.3	<i>Formulación del modelo estocástico markoviano de precipitación diaria.....</i>	59
4.2	Aplicación y estudio comparativo de la bondad del modelo.....	59
4.3	Conclusiones	61
5	OTROS MODELOS ESTOCÁSTICOS BASADOS EN PROCESOS DE PUNTEO	63
5.1	Introducción.....	64
5.2	Dos grandes familias de procesos y sus variantes	64
5.3	Revisión bibliográfica	67
5.4	Modelo de Neyman-Scott de ruido blanco	70
5.5	Modelo de Neyman-Scott de pulsos rectangulares.....	70
5.6	Modelo de Neyman-Scott modificado de pulsos rectangulares.....	72
5.7	Modelo de Bartlett-Lewis de pulsos rectangulares.....	74
5.8	Modelo de Bartlett-Lewis modificado de pulsos rectangulares.....	75
5.9	Comparación entre los modelos modificados y sin modificar.....	77
5.10	Comparación entre los modelos de Bartlett-Lewis y Neyman-Scott.....	77
5.11	Aplicación.....	78
5.12	Conclusiones.....	82
II	INCORPORACIÓN DE ASPECTOS METEOROLÓGICOS EN LA MODELACIÓN	84
6	ANTECEDENTES	85
6.1	Motivación.....	86
6.2	Clasificación de los métodos de downscaling	88
6.3	Downscaling estadístico	90
6.3.1	<i>Introducción teórica</i>	90
6.3.2	<i>Revisión bibliográfica</i>	93
6.4	Clasificación sinóptica utilizada.....	98
6.4.1	<i>Breve descripción de los distintos patrones sinópticos</i>	101
7	DESARROLLO DE UN MODELO CON REPRESENTACIÓN MARKOVIANA DE LA ALTERNANCIA DE SITUACIONES SINÓPTICAS. APLICACIÓN PARA SIMULACIÓN DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN UN PUNTO GEOGRÁFICO	107
7.1	Descripción cualitativa del modelo	108
7.2	Formulación matemática	109

7.3	Información estadística de la serie de datos empleada	112
7.4	Método <i>clustering</i> para reducción del número de situaciones sinópticas.....	117
7.5	Estimación de parámetros.....	119
7.6	Simulación y análisis de la bondad del modelo.....	120
7.7	Conclusiones.....	124
8	EMPLEO DEL DOWNSCALING ESTADÍSTICO PARA SIMULACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN AREAL	127
8.1	Introducción.....	128
8.2	Localización e información pluviométrica utilizada	128
8.2.1	<i>Obtención de los ficheros de lluvia media areal. Método de interpolación.....</i>	131
8.2.2	<i>Características estadísticas de la precipitación media areal en la cuenca del Sil y su relación con las configuraciones sinópticas existentes</i>	132
8.2.3	<i>Agrupación de las situaciones sinópticas en clusters</i>	135
8.2.4	<i>Aplicación del modelo para simulación de precipitación areal diaria en la cuenca del Sil.....</i>	136
8.3	Aplicación en predicción de precipitación diaria sobre la cuenca del Sil	139
8.3.1	<i>Introducción.....</i>	139
8.3.2	<i>Metodología</i>	140
8.4	Resumen y conclusiones.....	151
9	MODELO HÍBRIDO DE BARLETT-LEWIS BASADO EN PATRONES DE CIRCULACIÓN GENERAL	154
9.1	Introducción.....	155
9.2	Series de datos empleadas	156
9.3	Formulación del modelo híbrido de Bartlett-Lewis.....	157
9.4	Estimación de parámetros.....	159
9.5	Análisis de la bondad del modelo.....	163
9.6	Aplicación del modelo híbrido de Bartlett-Lewis para simulación de la precipitación en un punto geográfico	165
9.6.1	<i>Estudio de máximos</i>	167
9.7	Resumen y conclusiones.....	169
10	RESUMEN, CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	172
12	ANEXOS	182
13	REFERENCIAS	254

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Correlación a lag-1 de la cantidad de precipitación diaria	37
Tabla 3.2. Series de datos empleadas.	39
Tabla 3.3 Parámetros del modelo.	43
Tabla 3.4. Parámetro “p” de la distribución geométrica.....	44
Tabla 3.5. Distancia estadística media por cuenca.	50
Tabla 4.1. Distancia estadística en la estación de Bóveda.....	60
Tabla 7.1 Precipitación media diaria asociada a cada situación sinóptica. .	118
Tabla 7.2 Centro de gravedad de cada cluster.	119
Tabla 7.3 Correspondencia situación sinóptica- cluster.	119
Tabla 7.4 Parámetros del modelo.	120
Tabla 8.1. Estaciones pluviométricas de la Cuenca del Sil.	131
Tabla 8.2. Situaciones sinópticas correspondientes a cada cluster.....	136
Tabla 9.1. Parámetros del modelo	159
Tabla 9.2. Parámetros derivados.....	159
Tabla 9.3. Estadísticos utilizados.	160
Tabla 9.4. Parámetros correspondientes al cluster menos lluvioso.	161
Tabla 9.5. Parámetros correspondientes al cluster más lluvioso.	161
Tabla 9.6. Descriptores del proceso de precipitación.	161
Tabla 9.7. Otros descriptores del proceso de precipitación.....	162

Índice de Figuras

Figura 1.1. Presión saturante del vapor de agua en función de la temperatura	2
Figura 1.2. Ritmo de crecimiento de las gotitas de nubes: r_0 es el radio inicial, r_t es el radio al cabo de un tiempo.....	4
Figura 1.3. Presión saturante del vapor de agua ante el líquido en subfusión (curva de trazos) y ante el sólido (curva continua) por debajo de 0° , $T_3=273K$	5
Figura 3.1. Esquema del proceso de precipitación.....	34
Figura 3.2. Estaciones pluviométricas consideradas en la Cuenca del Alto-Ebro.....	40
Figura 3.3. Estaciones pluviométricas consideradas en la Cuenca del Sil	40
Figura 3.4. Estaciones pluviométricas consideradas en la Cuenca del Duero.....	41
Figura 3.5. Media histórica y simulada con las 3 distribuciones.....	47
Figura 3.6. Varianza histórica y simulada con las 3 distribuciones.....	47
Figura 3.7. Probabilidad de lluvia cero histórica y simulada.	47
Figura 3.8. Máximos históricos y simulados para S. Esteban (cuenca del Sil-noviembre).....	51
Figura 3.9. Máximos históricos y simulados para S. Esteban (cuenca del Sil-junio).....	51
Figura 5.1. Esquema del modelo de Bartlett-Lewis de pulsos rectangulares	66
Figura 7.1. Test de la χ^2 sobre distribuciones de cantidad de precipitación.....	112
Figura 7.2 Duración de las situaciones sinópticas.....	113
Figura 7.3 Número total de días de cada situación sinóptica.	114
Figura 7.4 Media de precipitación diaria asociada a cada situación sinóptica.	115
Figura 7.5 Desviación típica correspondiente a cada situación sinóptica.	116
Figura 7.6 Máximos de precipitación diaria correspondientes a cada situación sinóptica.	117
Figura 7.7 Duración de los clusters de situaciones sinópticas en la serie histórica y simulada.....	121
Figura 7.8 Media estacional diaria por cluster de situaciones sinópticas en la serie histórica y simulada	122
Figura 7.9 Desviación típica estacional por cluster de situaciones sinópticas en la serie histórica y simulada	122
Figura 7.10 Días lluviosos estacionales por cluster de situaciones sinópticas en la serie histórica y simulada.	122
Figura 7.11 Eventos estacionales por cluster de situaciones sinópticas en la serie histórica y simulada.	123
Figura 7.12 Media diaria estacional histórica y simulada.	123
Figura 7.13 Desviación típica estacional histórica y simulada.....	123
Figura 7.14 Probabilidad de lluvia cero estacional histórica y simulada.	124
Figura 8. 1. Situación de los pluviómetros utilizados en la cuenca del Sil.....	128
Figura 8.2. Precipitación media areal asociada a cada situación sinóptica.....	133
Figura 8.3. Desviación típica asociada a cada situación sinóptica	134
Figura 8.4. Máximos diarios asociados a cada situación sinóptica.	134

Figura 8.5. Duración en días de los clusters histórica y simulada.....	137
Figura 8.6. Número de días lluviosos asociado a cada cluster histórico y simulado.....	137
Figura 8.7. Media de la precipitación diaria estacional histórica y simulada.....	138
Figura 8.8. Desviación <i>standard</i> histórica y simulada.	138
Figura 8.9. Probabilidad de lluvia cero estacional histórica y simulada.	138
Figura 8.10. Pantalla correspondiente a la situación de los pluviómetros en la cuenca.	141
Figura 8.11. Pantalla correspondiente a una situación sinóptica, el mapa de isobaras, el mapa de altura y los efectos de precipitación en superficie.....	142
Figura 8.12. Pantalla correspondiente a la elección: Media diaria estacional y desviación típica.	143
Figura 8.13. Pantalla correspondiente a la elección: % de días lluviosos	144
Figura 8.14. Pantalla correspondiente a la elección: Media diaria estacional y desviación típica. Máximos.....	145
Figura 8.15. Pantalla correspondiente a la elección: Media diaria y desviación típica de los días con lluvia.....	146
Figura 8.16. Pantalla correspondiente a la elección: % de los días lluviosos.....	146
Figura 8.17. Pantalla correspondiente a la elección: Cuartiles.....	146
Figura 8.18. Pantalla correspondiente a la elección: Predicción.	148
Figura 8.19. Página de la Unidad de Observación y Predicción Meteorológica de Galicia.	149
Figura 8.20. Pantalla de Ayuda del programa InfoRain.....	150
Figura 8.21. Pantalla de Ayuda del programa InfoRain.....	150
Figura 9.1. Gráfico evaluador del error relativo correspondiente al cluster poco lluvioso.	163
Figura 9.2. Gráfico evaluador del error relativo correspondiente al cluster lluvioso.	164
Figura 9.3. Media histórica y simulada.	165
Figura 9.4. Varianza histórica y simulada.	165
Figura 9.5. Correlación a lag-1 histórica y simulada.....	166
Figura 9.6. Correlación a lag-2 histórica y simulada.....	166
Figura 9.7. Correlación a lag-3 histórica y simulada.....	166
Figura 9.8. Probabilidad de lluvia cero histórica y simulada.	167
Figura 9.9. Máximos históricos y simulados a 1 hora.	167
Figura 9.10. Máximos históricos y simulados a 6 horas.	168
Figura 9.11. Máximos históricos y simulados a 12 horas.	168
Figura 9.12. Máximos históricos y simulados a 24 horas.	168