

Índice

CAPÍTULO 1. Introducción	15
1.1 Motivación	15
1.2 Objetivos	18
1.3 Estructura	19
CAPÍTULO 2. Estado del arte	21
2.1 El ciclo hidrológico	21
2.2 Modelación hidrológica	24
2.2.1 Tipos de modelos hidrológicos	25
2.2.2 Modelos hidrológicos utilizados en la evaluación de recursos hídricos	27
2.2.2.1 Escalas temporales de simulación	32
2.2.3 Problemas presentes en la modelación hidrológica para la evaluación de recursos hídricos	33
2.2.3.1 Sistemas naturales y sistemas regulados	33
2.2.3.2 Limitaciones en las metodologías tradicionales para la modelación hidrológica para la evaluación de recursos hídricos	34
2.2.3.3 Restitución de caudales a régimen natural	35
2.3 Técnicas de optimización de parámetros de modelos precipitación-escorrentía	35
2.3.1 Calibración manual y automática	35
2.3.2 Algoritmos de optimización como técnicas de calibración de modelos hidrológicos	37
2.3.3 Problemas en la calibración. El principio de la equifinalidad	39
CAPÍTULO 3. Metodología general	41
3.1 Esquema general de las metodologías propuestas	42
3.2 Datos iniciales o datos de entrada	43
3.3 Modelación hidrológica	44
3.3.1 Sistemas naturales o no regulados	45
3.3.2 Sistemas regulados	47

3.3.3	Sistemas con una componente subterránea compleja	50
3.4	Herramientas para los procesos de modelización	52
3.4.1	Módulo para la Evaluación de los recursos Hídricos “Evalhid”	53
3.4.2	Módulo para Simulación de la Gestión de recursos hídricos “Simges”	53
3.4.3	Módulo de cálculo para la simulación de acuíferos “Aquival”	54
CAPÍTULO 4. Evaluación de recursos hídricos en sistemas no regulados		55
4.1	Introducción	55
4.2	Casos de estudio. Cuencas naturales o sin regulación.	57
4.3	Metodología para cuencas sin regulación	58
4.3.1	Fase 1: de recopilación de datos necesarios en el proceso de modelación.....	60
4.3.2	Fase 2: modelación hidrológica. Aplicación de modelos precipitación-escorrentía (MPE).....	61
4.3.2.1	Módulo para la evaluación de recursos hídricos “Evalhid”.	62
4.3.2.1.1	Características generales del módulo informático.	62
4.3.2.1.2	MPE disponibles.	63
4.3.2.1.3	Datos de entrada, datos de salida y funcionamiento del módulo.	65
4.3.2.2	Descripción de los MPE seleccionados.....	66
4.3.2.2.1	Modelo de Témez	66
4.3.2.2.2	Modelo GR4J	67
4.3.2.2.3	Modelo HBV	68
4.3.2.2.4	Modelo SAC-SMA	69
4.3.3	Fase 3: proceso de calibración del modelo precipitación-escorrentía (MPE).....	71
4.3.3.1	Algoritmos de optimización. Técnicas de calibración automática.....	71
4.3.3.1.1	SCE-UA	72
4.3.3.1.2	HLR.....	75
4.3.3.2	Configuración de la función objetivo (FO).....	80

4.4 Desarrollo de una aplicación informática para la calibración automática de MPE	82
4.5 Análisis comparativo en el comportamiento y eficiencia de los MPE seleccionados en los casos de estudio	84
4.5.1 Análisis del valor alcanzado de la FO.....	85
4.5.2 Análisis de los parámetros efectivos y caudales simulados	94
4.5.3 Comportamiento de los MPE en función de las características hidrológicas en las cuencas.....	101
4.6 Comparativa en la eficiencia de las técnicas de calibración empleadas .	101
4.7 Análisis de sensibilidad de los parámetros del algoritmo HLR para su aplicación en la calibración de MPE.....	104
4.8 Conclusiones.....	107
CAPÍTULO 5. Evaluación de recursos hídricos en sistemas regulados	111
5.1 Introducción	111
5.2 Caso de estudio. Sistema de explotación del Júcar	112
5.2.1 Características generales del sistema	112
5.2.2 Caracterización de los usos y demandas de agua en el sistema	116
5.2.3 Inventario de recursos hídricos	116
5.2.4 Configuración general del sistema para su análisis	117
5.3 Metodología para sistemas regulados	118
5.3.1 Fase 1: recopilación, análisis y validación de los datos necesarios para el proceso de modelización.....	122
5.3.2 Fase 2: modelación hidrológica. Ejecución de modelos precipitación-escorrentía (MPE).....	122
5.3.3 Fase 3A: calibración del MPE utilizando como serie de referencia los caudales restituidos a régimen natural (RRN).....	123
5.3.3.1 Función objetivo (FO).....	124
5.3.4 Fase 3B: calibración de MPE a partir de datos medidos en las estaciones de aforo (régimen alterado). Conexión entre un modelo MPE y un modelo de simulación de la gestión (MSG).....	124
5.3.4.1 Conexión entre el MPE y el MSG	125
5.3.4.2 Módulo para la Simulación de la Gestión Simges	127

5.4 Evaluación de recursos hídricos con caudales restituidos a régimen natural (RRN)	129
5.4.1 Bondad de ajuste de los MPE y análisis de su comportamiento en función de la escala temporal utilizada	129
5.4.2 Análisis del comportamiento de los MPE en función de su complejidad y escala temporal de simulación utilizada.....	133
5.4.3 Contraste de MPE a escala mensual y escala diaria.....	136
5.5 Evaluación de recursos hídricos ideando la conexión entre un MPE y un MSG.....	140
5.5.1 Esquema de simulación de la gestión en el sistema.....	140
5.5.2 Selección de los puntos de calibración del sistema.....	142
5.5.3 Bondad de ajuste y comportamiento de los MPE	143
5.6 Análisis comparativo de los resultados obtenidos utilizando datos RRN y en RA para la subcuenca de Molinar	144
5.7 Limitaciones y consideraciones de la metodología de uso conjunto MPE-MSG.	145
5.8 Conclusiones	146
CAPÍTULO 6. Integración de sistemas subterráneos en la modelación hidrológica para evaluación de recursos hídricos	149
6.1 Introducción	149
6.2 Caso de estudio. Cabecera del Guadiana	151
6.2.1 Localización geográfica de la cuenca	151
6.2.2 Problemática y breve reseña histórica.....	152
6.2.3 Climatología.....	154
6.2.4 Hidrogeología	155
6.3 Metodología para cuencas con importante influencia de la componente subterránea	156
6.3.1 Fase 1: clasificación de datos de aforos como representativos de la componente superficial y datos con registro de la componente subterránea	158
6.3.1.1 Puntos definidos en la zona de estudio	159
6.3.2 Fase 2: pre-calibración de modelos.....	160
6.3.2.1 Pre-calibración del modelo de flujo superficial	160

6.3.2.1.1 Configuración del modelo para su calibración (pre-calibración)	161
6.3.2.1.2 Proceso de calibración del modelo de flujo superficial .	164
6.3.2.2 Pre-calibración del modelo de flujo subterráneo	165
6.3.2.2.1 Configuración del modelo para su calibración (pre-calibración)	166
6.3.2.2.2 Proceso de calibración del modelo de simulación del flujo subterráneo	171
6.3.3 Fase 3: conexión entre el modelo de flujo superficial-subterráneo..	172
6.4 Discusión y análisis de resultados.....	174
6.4.1 Resultados de la calibración del modelo de flujo superficial.....	174
6.4.2 Resultados de la calibración del modelo de flujo subterráneo.....	177
6.5 Limitaciones y consideraciones de la metodología del uso conjunto un MPE y un modelo de flujo subterráneo	180
6.6 Conclusiones	180
CAPÍTULO 7. Conclusiones generales y líneas de investigación futuras...	183
7.1 Conclusiones generales.....	183
7.2 Líneas futuras de investigación.....	187
Referencias.....	189
ANEXO A. Manual del calibrador para Evalhid (<i>CalEvv</i>	213
ANEXO B. Descripción de modelos precipitación-escorrentía (MPE).....	253
ANEXO C. Formulación matemática del algoritmo de búsqueda local y lanzamientos múltiples: Hipercubo Latino y Rosenbrock (HLR).....	291
ANEXO D. Resultados de la pre-calibración del modelo de flujo superficial HBV	295
ANEXO E. Matrices de datos y valores celda a celda necesarios para el método de los autovalores y resultados de la pre-calibración del modelo de flujo subterráneo	299