
ÍNDICE GENERAL

Resumen	I
Resum	V
Summary	VIII
Índice General	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Motivación y alcance de la investigación	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos particulares	3
1.4. Organización del documento	4
2. ESTADO DEL ARTE	
2.1. Particularidades de los acuíferos dentro de la gestión conjunta de recursos hídricos	6
2.1.1. Restitución al régimen natural y régimen alterado	6
2.1.2. Ecuación diferencial de flujo subterráneo	8
2.1.3. Condiciones inicial y de contorno	11
2.1.4. Sistemas lineales y principio de superposición	12
2.1.5. Simulación completa y por superposición	15
2.2. Utilización conjunta y relaciones río-acuífero	15
2.2.1. Utilización conjunta del agua	15
2.2.2. Simulación de sistemas de uso conjunto	17
2.2.3. Relaciones río-acuífero en el uso conjunto	18

Borrador de Tesis Doctoral

2.2.4. Evaluación de relaciones río-acuífero en modelos de gestión	20
2.3. Integración de los modelos lineales de simulación conjunta de flujo superficial y subterráneo en modelos de simulación de la gestión	21
2.3.1. Modelación de sistemas de recursos hídricos	21
2.3.2. Síntesis de modelos matemáticos de acuífero usados para el análisis de la gestión conjunta en sistemas de recursos hídricos	23
2.4. Avances en la evaluación de las relaciones río-acuífero en sistemas lineales de gestión conjunta de recursos hídricos	26
2.4.1. Modelo de acuífero por Autovalores	26
2.4.2. Modelo Pluricelular Englobado	28
2.4.3. Reducción de sistemas invariantes en el tiempo usados en la modelación hidrológica subterránea	30
2.5. Impacto del cambio climático sobre los sistemas de recursos hídricos	33
2.5.1. Introducción al cambio climático	33
2.5.2. El efecto invernadero y sus implicaciones sobre el sistema climático	34
2.5.3. Escenarios de emisiones para el estudio del cambio climático	37
2.5.4. Modelos climáticos de circulación global (MCG)	47
2.5.5. Modelos climáticos regionalizados (MCR)	49
2.5.6. Efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico	53
3. METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE MODELOS DE ACUÍFERO EN SISTEMAS DE USO CONJUNTO	
3.1. Introducción	55
3.2. Integración de la metodología propuesta	57
3.3. Aportación a procesos de la metodología	63
3.3.1. Adecuación de la herramienta de estimación de aportaciones	63
3.3.2. Soluciones numéricas aproximadas desarrolladas para la evaluación eficiente de condiciones de contorno no lineales con el método de Autovalores	65
3.3.3. Uso de herramienta de aproximación de parámetros hidrogeológicos en modelo de acuífero por Autovalores	72
3.3.4. Adecuación de la metodología de evaluación del impacto del cambio climático regionalizado en masas subterráneas	75
3.4. Factores que han conducido al desarrollo metodológico propuesto	76
3.4.1. Papel de la metodología propuesta en la evaluación del uso conjunto en sistemas de explotación complejos	76
3.4.2. Factores asociados al desarrollo metodológico	77
4. EJEMPLOS DE EVALUACIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO NO LINEALES EN ACUÍFEROS CON INTERACCIÓN SINTÉTICA Y REAL DE RELACIONES RÍO-ACUÍFERO Y MANANTIAL	
4.1. Modelos de acuífero sintéticos regulares	79
4.1.1. Características geométricas e hidrogeológicas	79
4.1.2. Análisis de eficiencia y tiempo de cálculo	81
4.1.3. Síntesis y discusión	84

Borrador de Tesis Doctoral

4.2. Modelo de acuífero por Autovalores Beniardá-Polop	85
4.2.1. Introducción	85
4.2.2. Descripción del área de estudio	86
4.2.3. Interpretación del funcionamiento hidrológico subterráneo	87
4.2.4. Acuífero por Autovalores Beniardá-Polop	88
4.2.5. Síntesis y discusión	91
5. CASO DE ESTUDIO: LA CUENCA DEL DUERO	
5.1. Caracterización, análisis de datos y balance de recursos	92
5.1.1. Caracterización general de la cuenca del Duero	92
5.1.2. Resumen de análisis previos en la zona de estudio	99
5.1.3. Balance de recursos en el acuífero del Duero	119
5.2. Aplicación de la metodología a la cuenca hidrológica del Duero	122
5.2.1. Introducción	122
5.2.2. Propiedades del modelo simplificado por Autovalores	123
5.2.3. Calibración por simulación del acuífero bajo condiciones de régimen influenciado por bombeos	130
5.2.4. Simulación del acuífero calibrado bajo comportamiento a régimen natural	148
5.2.5. Simulación del acuífero en un modelo simplificado en Diferencias Finitas	149
5.2.6. Síntesis y discusión	151
6. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA Y SU INTEGRACIÓN EN UN SISTEMA DE USO CONJUNTO	
6.1. Análisis de la metodología de integración	153
6.2. Análisis de la implementación de la metodología en el modelo de acuífero del caso de estudio principal	154
6.3. Aplicabilidad y extrapolación de la propuesta metodológica	155
6.3.1. Limitantes del uso de la metodología ante disponibilidad y escasez de datos	160
6.3.2. Consideraciones sobre la incertidumbre asociada a la aplicabilidad de la propuesta metodológica	161
7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	
7.1. Resumen	162
7.2. Aportaciones originales de la tesis	163
7.3. Conclusiones	163
7.3.1. Conclusiones particulares	164
7.3.2. Conclusiones generales	168
7.4. Líneas de investigación futura	170
8. REFERENCIAS	179

ANEJOS

A1 ESTIMACIÓN CONJUNTA DE APORTACIONES	188
1.1. Introducción	188
1.2. Disponibilidad de datos	189
1.3. Selección del modelo lluvia-escorrentía	192
1.4. Obtención de parámetros según litología y usos del suelo en las sub-cuencas de estudio	195
1.5. Calibración de parámetros	197
1.6. Resultados	200
1.7. Síntesis y discusión	206
A2 APROXIMACIÓN DE PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS USANDO LA METODOLOGÍA GLUE	208
2.1. Introducción	208
2.2. Metodología	209
2.3. Zona de estudio	211
2.4. Modelo de flujo subterráneo y campos de parámetros aleatorios	212
2.5. Aplicación de la metodología	214
2.6. Síntesis y discusión	222
A3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALIZADO EN MASAS SUBTERRÁNEAS DEL DUERO	223
3.1. Generalidades	223
3.2. Técnicas de bajada de escala (Downscaling)	224
3.3. Proyecto ENSEMBLES usado por la AEMET para la bajada de escala estadística de los modelos de circulación global	225
3.4. Aplicación de la metodología de estimación de impacto del cambio climático en masas subterráneas	225
3.5. Análisis del impacto del cambio climático regionalizado sobre la infiltración media en las masas subterráneas del Duero	254