



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL MODELO HIDROLÓGICO PATRICAL EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Memoria

TRABAJO FINAL DE GRADO

Titulación: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2015/16

Autor: MUÑOZ DEL PRADO, Francisco Javier.

TÍTULO INDIVIDUAL: Cuencas del Cenia, Mijares,
Palancia, Turia, Marinas y Vinalopó.

Autor: VELARDE RODRÍGUEZ, Adrián.

TÍTULO INDIVIDUAL: Cuenca del Júcar y Serpis.

Tutor: PÉREZ MARTIN, Miguel Ángel.

Valencia, junio de 2016

"Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo". Jacques Y. Cousteau.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Plan Hidrológico del Júcar.....	3
2.2. Instituto Geológico y Minero de España.....	3
3. METODOLOGÍA.....	5
3.1. Modelo PATRICAL.....	5
3.2. Parámetros de ajuste del modelo.....	7
3.3. Sistemática.....	8
3.3.1. Descripción general.....	8
3.3.2. Relación Sistema de explotación y masas de agua subterránea.....	8
3.3.2.1. Manantiales, lagos y humedales.....	8
3.3.2.2. Relación río-acuífero.....	8
3.3.2.3. Masas de agua subterránea.....	8
3.3.3. Masas de agua superficial y puntos de contraste.....	9
3.3.4. Análisis resultados del modelo actual.....	9
3.3.5. Conclusiones.....	9
3.3.6. Segunda versión del modelo.....	9
4. SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN.....	11
4.1. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN CÉNIA-MAESTRAZGO.....	11
4.1.1. Descripción del Sistema.....	13
4.1.2. Relaciones Río-Acuífero.....	15
4.1.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.....	15
4.1.2.2. Relaciones Río-Acuífero.....	16
4.1.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.....	17
4.1.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.....	18
4.1.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.....	18
4.1.5. Análisis de los resultados del modelo original.....	19
4.1.5.1. Punto de contraste del río Cénia en el aforo Masía del Retor.....	19
4.1.5.2. Punto de contraste de las entradas al embalse de Ulldecona.....	20
4.1.6. Conclusiones del análisis del modelo original.....	21
4.1.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.....	21
4.1.7.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Ulldecona.....	22
4.1.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.....	23
4.2. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN.....	25
4.2.1. Descripción del Sistema.....	27
4.2.2. Relaciones Río-Acuífero.....	30
4.2.2.1. Manantiales.....	30
4.2.2.2. Relaciones Río-Acuífero.....	31
4.1.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.....	31
4.2.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.....	32
4.2.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.....	33
4.2.5. Análisis de los resultados del modelo original.....	35
4.2.5.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Arenós.....	35
4.2.5.3. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Arenós (Serie restituida).....	36

4.2.5.4. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Sichar (Serie restituida).	37
4.2.5.4. Punto de contraste de las entradas al embalse de la Alcora.	38
4.2.5.5. Punto de contraste de las entradas al embalse de María Cristina.	39
4.2.6. Conclusiones del análisis del modelo original.	40
4.2.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.	40
4.2.7.1. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Sichar (Serie restituida).	41
4.2.7.2. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Sichar (Serie restituida).	41
4.2.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.	42
4.3. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN PALANCIA-LOS VALLES.	45
4.3.1. Descripción del Sistema.	47
4.3.2. Relaciones Río-Acuífero.	49
4.3.2.1. Manantiales.	49
4.3.2.2. Relaciones Río-Acuífero.	50
4.3.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.	50
4.3.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.	51
4.3.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.	52
4.3.5. Análisis de los resultados del modelo original.	53
4.3.5.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de El Regajo.	53
4.3.6. Conclusiones del análisis del modelo original.	54
4.3.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.	54
4.3.7.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de El Regajo.	55
4.3.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.	56
4.4. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN TÚRIA.	57
4.4.1. Descripción del Sistema.	59
4.4.2. Relaciones Río-Acuífero.	62
4.4.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.	62
4.4.2.2. Relaciones Río-Acuífero.	63
4.4.2.2.1. Relaciones Río-Acuífero en la cabecera del Túria.	63
4.4.2.2.2. Relaciones Río-Acuífero en el tramo medio y bajo del sistema Túria.	64
4.4.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.	64
4.4.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.	66
4.4.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.	67
4.4.5. Análisis de los resultados del modelo original.	68
4.4.5.1. Punto de contraste en el río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas (Serie restituida).	68
4.4.5.2. Punto de contraste en el río Alfambra en Teruel.	69
4.4.5.3. Punto de contraste en el río Ebrón en el aforo de los Santos.	70
4.4.5.4. Punto de contraste del río Túria en el embalse de Benagéber (Serie restituida).	71
4.4.5.5. Punto de contraste del río Túria en el embalse de Loriguilla (Serie restituida).	72
4.4.5.6. Punto de contraste de las entradas al embalse de Buseo.	73
4.4.5.7. Punto de contraste del río Túria en el aforo de Manises (Serie restituida).	74
4.4.6. Conclusiones del análisis del modelo original.	75
4.4.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.	75
4.4.7.1. Punto de contraste en el río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas (Serie restituida).	76
4.4.7.2. Punto de contraste en el río Alfambra en Teruel.	77
4.4.7.3. Punto de contraste en el río Ebrón en el aforo de los Santos.	78
4.4.7.4. Punto de contraste del río Túria en el embalse de Benagéber (Serie restituida).	79
4.4.7.5. Punto de contraste del río Túria en el embalse de Loriguilla (Serie restituida).	80
4.4.7.6. Punto de contraste del río Túria en el aforo de Manises (Serie restituida).	81
4.4.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.	82

4.5. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN JÚCAR.....	83
4.5.1. Descripción del sistema.....	85
4.5.2. Relaciones Río-Acuífero.....	88
4.5.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.....	88
4.5.2.2. Relación Río-Acuífero.....	90
4.5.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.....	91
4.5.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.....	92
4.5.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.....	93
4.5.4. Análisis de los resultados del modelo original.....	93
4.5.4.1. Punto de contraste del río Júcar en la venta de Juan Romero.....	94
4.5.4.2. Punto de contraste del río Júcar en el embalse La Toba.....	95
4.5.4.3. Punto de contraste en el río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca.....	96
4.5.4.4. Punto de contraste del río Júcar en el aforo El Castellar.....	97
4.5.4.5. Punto de contraste de las entradas embalse de Alarcón.....	98
4.5.4.6. Punto de contraste del río Cabriel en el aforo Villora (1).....	99
4.5.4.7. Punto de contraste del río Martín en el aforo Villora (2).....	100
4.5.4.8. Punto de contraste del río ojos de Moya en Camporrobles.....	101
4.5.4.9. Punto de contraste de las entradas al embalse de Contreras.....	102
4.5.4.10. Punto de contraste en el embalse de El Molinar.....	104
4.5.4.11. Punto de contraste en el embalse de Tous (Serie restituida).....	105
4.5.4.12. Punto de contraste en el Azud de Sueca (Serie restituida).....	106
4.5.5. Conclusiones del análisis del modelo original.....	107
4.5.6. Análisis de los resultados del modelo actualizado.....	107
4.5.6.1. Punto de contraste del río Júcar en la venta de Juan Romero.....	108
4.5.6.2. Punto de contraste del río Júcar en el embalse La Toba.....	109
4.5.6.3. Punto de contraste en el río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca.....	110
4.5.5.4. Punto de contraste del río Júcar en el aforo El Castellar.....	111
4.5.5.5. Punto de contraste de las entradas embalse de Alarcón.....	112
4.5.5.6. Punto de contraste del río Cabriel en el aforo Villora (1).....	113
4.5.5.7. Punto de contraste del río Martín en el aforo Villora (2).....	114
4.5.5.8. Punto de contraste del río Ojos de Moya en Camporrobles.....	115
4.5.5.9. Punto de contraste de las entradas al embalse de Contreras.....	116
4.5.5.10. Punto de contraste en el embalse de El Molinar.....	117
4.5.5.11. Punto de contraste en el embalse de Tous (Serie restituida).....	118
4.5.5.12. Punto de contraste en el Azud de Sueca (Serie restituida).....	119
4.5.6. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.....	120
4.5.6.1. Cabecera del sistema.....	120
4.5.6.1.1. Cabecera del río Júcar.....	120
4.5.6.1.2. Cabecera del río Cabriel.....	120
4.5.6.2. Tramo medio del río Júcar.....	121
4.5.6.3. Desembocadura del río Júcar.....	122
4.6. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN SERPIS.....	123
4.6.1. Descripción del sistema.....	125
4.6.2. Relaciones Río-Acuífero.....	127
4.6.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.....	127
4.6.2.2. Relación Río-Acuífero.....	128
4.6.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.....	128
4.6.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.....	129
4.6.4. Análisis de los resultados del modelo original.....	130
4.6.4.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Beniarrés.....	130
4.6.5. Conclusiones del análisis del modelo original.....	131

4.6.4. Análisis de los resultados del modelo actualizado.	132
4.6.4.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Beniarrés.....	132
4.6.7. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.	133
4.7. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MARINA ALTA.....	135
4.7.1. Descripción del Sistema.....	137
4.7.2. Relaciones Río-Acuífero.....	139
4.7.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.	139
4.7.2.2. Relaciones Río-Acuífero.....	140
4.7.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.	140
4.7.3. Puntos de Contraste Modelo-Realidad.	141
4.7.4. Conclusiones.	142
4.8. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MARINA BAJA.....	143
4.8.1. Descripción del Sistema.....	145
4.8.2. Relaciones Río-Acuífero.....	146
4.8.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.	146
4.8.2.2. Relaciones Río-Acuífero.....	147
4.8.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.	147
4.8.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.	149
4.8.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.....	149
4.8.5. Análisis de los resultados del modelo original.	150
4.8.5.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Guadalest.	150
4.8.5.2. Punto de contraste del río Sella en Orqueta.....	151
4.8.6. Conclusiones del análisis del modelo original.	152
4.8.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.	152
4.8.7.1. Contraste de Caudales segunda versión del modelo en las entradas al embalse de Guadalest.	153
4.8.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.	154
4.9. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN VINALOPÓ-ALACANTÍ.....	155
4.9.1. Descripción del Sistema.....	157
4.9.2. Relaciones Río-Acuífero.....	159
4.9.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.	159
4.9.2.2. Relaciones Río-Acuífero.....	160
4.9.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.	160
4.9.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.	162
4.9.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.....	162
4.9.5. Análisis de los resultados del modelo original.	163
4.9.5.1. Punto de contraste del río Vinalopó en el aforo de Santa Eulalia.	163
4.9.5.2. Punto de contraste de las entradas al embalse de Elche.....	164
4.9.6. Conclusiones del análisis del modelo original.	165
4.9.7. Conclusiones.	165
5. CONCLUSIONES GENERALES.....	167
6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	169
7. REFERENCIAS DE FUENTES FOTOGRÁFICAS.....	171
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Datos y funcionamiento del modelo PATRICAL.	6
Figura 2. Modelación del ciclo hidrológico en dos capas.	6
Figura 3. Masas de agua superficiales del sistema de explotación Cénia-Maestrazgo.	13
Figura 4. Manantiales del Sistema Cénia-Maestrazgo.	16
Figura 5. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Cénia-Maestrazgo.	17
Figura 6. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Cénia - Maestrazgo.	17
Figura 7. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Cénia - Maestrazgo.	18
Figura 8. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el aforo Masía del Retor.	19
Figura 9. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas al embalse de Uldecona.	20
Figura 10. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en las entradas al embalse de Uldecona.	22
Figura 11. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón.	27
Figura 12. Manantiales del sistema Mijares-Plana de Castellón.	30
Figura 13. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Mijares-Plana de Castellón.	31
Figura 14. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Mijares-Plana de Castellón.	32
Figura 15. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Mijares-Plana de Castellón.	33
Figura 16. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas embalse de Arenós.	35
Figura 17. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Arenós (Serie restituida).	36
Figura 18. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Sichar (Serie restituida).	37
Figura 19. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Lucena en embalse de Alcora.	38
Figura 20. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de María Cristina.	39
Figura 21. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida en el embalse de Arenós.	41
Figura 22. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida en Sichar.	42
Figura 23. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón.	47
Figura 24. Manantiales del sistema Palancia-Los Valles.	49
Figura 25. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Palancia-Los Valles.	50

Figura 26. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Palancia-Los Valles.	51
Figura 27. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Palancia-Los Valles.	52
Figura 28. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas embalse del Regajo.	53
Figura 29. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en las entradas al embalse del Regajo.	55
Figura 30. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Túria.	59
Figura 31. Manantiales del sistema Túria.	63
Figura 32. Comportamiento de las masas de agua subterránea en la cabecera del sistema Túria.	64
Figura 33. Comportamiento de las masas de agua subterránea en los tramos medio y bajo del sistema Túria.	65
Figura 34. Comportamiento de los sectores de agua subterránea en la cabecera del sistema Túria.	65
Figura 35. Comportamiento de los sectores de agua subterránea en los tramos medio y bajo del sistema Túria.	66
Figura 36. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Túria.	67
Figura 37. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original del río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas.	68
Figura 38. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Alfambra en Teruel.	69
Figura 39. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original del río Ebrón en el aforo de los Santos.	70
Figura 40. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en la serie restituida en el embalse de Benagéber.	71
Figura 41. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en la serie restituida en el embalse de Loriguilla.	72
Figura 42. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas al embalse de Buseo.	73
Figura 43. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en la serie restituida en la estación de aforos de Manises.	74
Figura 44. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Arquillo de San Blas.	76
Figura 45. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Alfambra en Teruel.	77
Figura 46. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Ebrón.	78
Figura 47. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Benagéber.	79
Figura 48. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Loriguilla.	80
Figura 49. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Manises.	81
Figura 50. Manantiales del sistema Júcar.	89

Figura 51. Relación Río-Acuífero del Sistema Júcar.	90
Figura 52. a) Masas de Agua Subterránea y b) sus sectores del Sistema Júcar.	91
Figura 53. a) Aforos y b) Masas de Agua Superficial.	92
Figura 54. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el aforo de la Venta de Juan Romero.	94
Figura 55. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse La Toba.	95
Figura 56. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el aforo de la ciudad de Cuenca.	96
Figura 57. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Júcar en el aforo El Castellar.	97
Figura 58. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Alarcón.	98
Figura 59. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Cabriel en aforo Villora.	99
Figura 60. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Martín en aforo Villora.	100
Figura 61. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Ojos de Moya en Camporrobles.	101
Figura 62. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Contreras.	102
Figura 63. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de El Molinar.	104
Figura 64. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Tous.	105
Figura 65. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original del río Júcar en el Azud de Sueca.	106
Figura 66. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el aforo de la Venta de Juan Romero.	108
Figura 67. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse La Toba.	109
Figura 68. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el aforo de la ciudad de Cuenca.	110
Figura 69. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Júcar en el aforo El Castellar.	111
Figura 70. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Alarcón.	112
Figura 71. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Cabriel en aforo Villora.	113
Figura 72. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Martín en aforo Villora.	114
Figura 73. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Ojos en Camporrobles.	115
Figura 74. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Contreras.	116
Figura 75. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de El Molinar.	117

Figura 76. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Tous.....	118
Figura 77. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado del río Júcar en el Azud de Sueca.....	119
Figura 78. Manantiales del sistema Serpis.....	127
Figura 79. Relación Río-Acuífero del sistema de explotación Serpis.....	128
Figura 80. a) Masas de agua subterránea y b) Sectores del sistema de explotación Serpis.	128
Figura 81. a) Masas de agua superficial y b) aforos del sistema Serpis.....	129
Figura 82. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Beniarrés.....	130
Figura 83. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Beniarrés.....	132
Figura 84. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Marina Alta.....	137
Figura 85. Manantiales del sistema Marina Alta.....	139
Figura 86. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Marina Alta.	140
Figura 87. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Marina Alta.	141
Figura 88. Puntos de masas de agua modelizados en el sistema Marina Alta.....	141
Figura 89. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Marina Baja.....	145
Figura 90. Manantiales del sistema Marina Baja.....	147
Figura 91. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Marina Baja.	148
Figura 92. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Marina Baja.	148
Figura 93. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema de la Marina Baja.....	149
Figura 94. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas embalse de Guadalest.....	150
Figura 95. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Sella en Orcheta.....	151
Figura 96 Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en las entradas embalse de Guadalest.....	153
Figura 97. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Vinalopó-Alicantí.....	157
Figura 98. Manantiales del sistema Vinalopó-Alicantí.....	159
Figura 99. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Vinalopó-Alicantí.....	161
Figura 100. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Vinalopó-Alicantí.....	161
Figura 101. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el Marina Baja.....	162
Figura 102. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Vinalopó en Santa Eulalia.....	163
Figura 103. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas al embalse de Elche.....	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de valores de los estadísticos PBIAS y NSE.....	7
Tabla 2. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Cénia en Mas del Retor.....	19
Tabla 3. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Cénia entradas al embalse de Uldecona.....	20
Tabla 4. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Cénia entradas al embalse de Uldecona.....	22
Tabla 5. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Cénia-Maestrazgo.....	23
Tabla 6. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Mijares entradas al embalse de Arenós.....	35
Tabla 7. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Mijares en el embalse de Arenós (Serie Restituida).....	36
Tabla 8. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Mijares en el embalse de Sichar (Serie Restituida).....	37
Tabla 9. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Lucena en el embalse de Alcora.....	38
Tabla 10. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el embalse de María Cristina.....	39
Tabla 11. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizada en el embalse de Arenós.....	41
Tabla 12. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el embalse Sichar.....	42
Tabla 13. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Mijares-Plana de Castellón.....	43
Tabla 14. Datos de caudales y estadísticos del modelo original río Palancia entradas al embalse del Regajo.....	53
Tabla 15. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Palancia entradas al embalse del Regajo.....	55
Tabla 16. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Palancia-Los Valles.....	56
Tabla 17. Datos de caudales y estadísticos del modelo original del río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas.....	68
Tabla 18. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Alfambra en Teruel.....	69
Tabla 19. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Ebrón en los Santos.....	70
Tabla 20. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el embalse de Benagéber.....	71
Tabla 21. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en la serie restituida en el embalse de Loriguilla.....	72
Tabla 22. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en las entradas al embalse de Buseo.....	73

Tabla 23. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en la estación de aforos de Manises.	74
Tabla 24. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el embalse del Arquillo de San Blas.	76
Tabla 25. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Alfambra en Teruel.....	77
Tabla 26. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Ebrón en Los Santos.....	78
Tabla 27. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado del río Túrria en el embalse de Benagéber.....	79
Tabla 28. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado del río Túrria en el embalse de Benagéber.....	80
Tabla 29. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado del río Túrria en la estación de aforos de Manises.	81
Tabla 30. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Túrria.....	82
Tabla 31. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el Aforo de la Venta de Juan Romero.	94
Tabla 32. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de la Toba.....	95
Tabla 33. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el aforo de la ciudad de Cuenca.....	96
Tabla 34. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Júcar en el aforo El Castellar.	97
Tabla 35. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Alarcón.	98
Tabla 36. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Cabriel en aforo Villora.....	99
Tabla 37. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Martín en el aforo Villora.	100
Tabla 38. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el río Ojos de Moya en Camporrobles.	101
Tabla 39. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Contreras.....	102
Tabla 40. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de El Molinar.....	104
Tabla 41. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Tous.	105
Tabla 42. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Júcar en el Azud de Sueca.	106
Tabla 43. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el Aforo de la Venta de Juan Romero.	108
Tabla 44. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de la Toba.....	109
Tabla 45. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el aforo de la ciudad de Cuenca.....	110

Tabla 46. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Júcar en el aforo El Castellar.	111
Tabla 47. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Alarcón.....	112
Tabla 48. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Cabriel en aforo Villora.....	113
Tabla 49. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Martín en el aforo Villora.....	114
Tabla 50. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el río Ojos de Moya en Camporrobles.	115
Tabla 51. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Contreras.	116
Tabla 52. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de El Molinar.	117
Tabla 53. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Tous.....	118
Tabla 54. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Júcar en el Azud de Sueca.	119
Tabla 55. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en la cabecera del río Júcar.....	120
Tabla 56. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en la cabecera del río Cabriel.....	121
Tabla 57. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en el tramo medio del río Júcar.	121
Tabla 58. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en la desembocadura del río Júcar.....	122
Tabla 59. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Beniarrés.....	130
Tabla 60. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Beniarrés.....	132
Tabla 61. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en el río Serpis.....	133
Tabla 62. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Guadalest.....	150
Tabla 63. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Sella en Orcheta.....	151
Tabla 64. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Guadalest.	153
Tabla 65. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema de la Marina Baja.....	154
Tabla 66. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Vinalopó en el aforo de Sana Eulalia.....	163
Tabla 67. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Elche.....	164

1. Introducción y Objetivos.

La Directiva Marco del Agua (DMA) (Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000), incorporada al ordenamiento jurídico español mediante el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA) (Ley 62/2003, de 30 diciembre) y el Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH) (RD 907/2007, de 6 de julio), determina que los estados miembros de la Unión Europea deberán establecer las medidas necesarias para alcanzar el buen estado de las masas de agua superficiales, subterránea y costeras a más tardar a los 15 años después de la entrada en vigor de la Directiva.

Las consideraciones previas que aparecen en la DMA, en cuencas con escasez de recursos y fuertes demandas como son muchas de las cuencas españolas, desembocan en la creación de la Instrucción de Planificación Hidrológica (OM ARM/2656/2008, de 10 de septiembre) que adapta las recomendaciones para la redacción de planes hidrológicos al nuevo marco legislativo.

Con esta nueva legislación en vigor, el conocimiento de los recursos hídricos disponibles se hace indispensable a la hora de realizar la Planificación y Gestión de Recursos Hídricos. Con este propósito, se desarrolló el modelo PATRICAL, que simula los recursos y la calidad en cada masa de agua superficial del territorio. Dicho modelo es empleado por la Confederación Hidrográfica del Júcar en el desarrollo de sus Planes Hidrológicos desde 2005.

El presente documento trata de realizar una comprensión de todas las características que forman la demarcación Hidrográfica del Júcar, y los 9 sistemas de explotación que se encuentran dentro ésta.

La finalidad con la que se redacta este proyecto es: conocer el recurso hídrico existente en la demarcación Hidrográfica del Júcar, revisar y actualizar el modelo de simulación de caudales, e incluir mejoras en dicho modelo.

Esta memoria, además de la presente introducción, incluye los siguientes apartados:

El apartado de Antecedentes, que resume los principales documentos en los que se basa el estudio y los organismos que los redactan.

El apartado de metodología, que describe los criterios generales y los procedimientos aplicados en la realización de los análisis.

Los apartados dedicados a los sistemas de explotación que desarrollan el análisis de cada sistemas definido dentro de la demarcación, detallando los balances mediante la simulación.

Finalmente, el apartado de Conclusiones Generales, que expone las conclusiones que se obtienen a partir de los análisis realizados.

Al tratarse de un documento realizado por dos autores, los apartados expuestos se han redactado de la siguiente manera:

- Los apartados Introducción y Objetivos, Antecedentes, Metodología, Conclusiones Generales, y Líneas Futuras son obra de ambos autores en común.
- Los apartados de sistemas de explotación Cénia-Maestrazgo, sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón, sistema de explotación Palancia-Los Valles, sistema de explotación Túria, sistema de explotación Marina Alta, sistema de explotación Marina Baja, y sistema de explotación Vinalopó-Alicantí son obra del autor Francisco Javier Muñoz del Prado.
- Los apartados de sistema de explotación Júcar, y sistema de explotación Serpis son obra del autor Adrián Velarde Rodríguez.

2. Antecedentes.

La realización de este estudio está basada en una serie de documentos previos que caracterizan mejor el ámbito de la demarcación hidrográfica del Júcar, y son los siguientes:

2.1. Plan Hidrológico del Júcar.

El Plan Hidrológico del Júcar (PHJ) aprobado en 2015 y cuyo objetivo, extraído del propio PHJ es “conseguir el buen estado y la adecuada protección de las masas de agua, la satisfacción de las demandas de agua y el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial.” (PHJ, 2015). Además, se encarga de definir todos y cada uno de los recursos hídricos de la Confederación, así como todas las infraestructuras hidráulicas que se encuentran dentro de ella, y conocer las aportaciones hídricas en cualquier punto de la demarcación. Para ello emplea un modelo fiable, robusto y contrastado de simulación denominado PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad de aguas).

2.2. Instituto Geológico y Minero de España.

El Instituto Geológico y Minero de España es un Organismo Público de Investigación, con carácter de organismo autónomo, adscrito al Ministerio de Economía y Competitividad que realizó un estudio acerca del comportamiento hidrogeológico de las masas de agua subterránea para la demarcación Hidrográfica del Júcar. Situó en un mapa todas las relaciones entre estas masas y la red superficial de ríos, es decir, las relaciones río-acuífero en las que define si un río es ganador, perdedor o variable, y la existencia de lagos, manantiales y humedales, que también son descargas de las masas de agua subterránea a la superficie.

3. Metodología.

Para lograr los objetivos descritos es necesario realizar un reconocimiento previo del sistema. Primero, hacer un análisis de los ríos comprendiendo de qué forma nace el río, y cómo actúa a lo largo del sistema hasta su desembocadura. De la misma manera, han de conocerse los aforos que miden los caudales circulantes en los ríos, y los embalses que se encuentran en cada río, y cómo alteran el flujo.

Comprender el sistema implica también, conocer las relaciones río-acuífero que se producen dentro de él, es decir, si el cauce es ganador, perdedor o variable, y en qué zonas se dan estas situaciones. Además, se dispone de información sobre la ubicación de los manantiales, lagos y humedales y se estudia si estos están conectados a la red de ríos superficial. Por último, se contemplan las masas de agua subterránea delimitadas por la CHJ en el Plan Hidrológico del Júcar (PHJ, 2015), y se deduce si éstas ceden recursos hídricos a la superficie de forma natural.

Para representar el ámbito de estudio se hace uso de una herramienta de georreferenciación, un software SIG –en este caso ArcGIS-, que permite interpretar todos los datos de los que se dispone y analizarlos con el fin de mejorar el sistema.

Una vez se conoce toda esta información acerca del río, se analiza la simulación realizada por el modelo PATRICAL actual. Este modelo actual tiene implementado un mapa geológico, y calcula los caudales para cada masa de agua superficial del sistema. Con ayuda de los estadísticos de control, que son el BIAS relativo y el Índice de Nash, y los caudales observados en los aforos de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) y en los embalses del sistema, se realiza un contraste entre los caudales observados y los caudales modelizados.

Tras los resultados del análisis se implementan los cambios propuestos, y se cambia el mapa geológico por un mapa litológico que aporta mayor detalle. Con estos cambios, se realiza una nueva simulación y se vuelven a calcular los estadísticos de control comparando ambas versiones del modelo.

Por último se exponen las conclusiones que arroja el contraste entre los dos modelos de simulación y si se producen mejoras con el cambio introducido.

3.1. Modelo PATRICAL.

El modelo empleado para conocer el recurso hídrico en cualquier punto de la CHJ es el PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad de aguas) que es *“un modelo a gran escala (cuencas medias/grandes), conceptual y mensual, espacialmente distribuido, de balance de agua con calidad de agua integrada que incluye: caudales, interacciones río-acuífero, interacción entre acuíferos, descarga de acuíferos a humedales y al mar, y niveles medios en acuíferos”*. (Pérez, 2005).

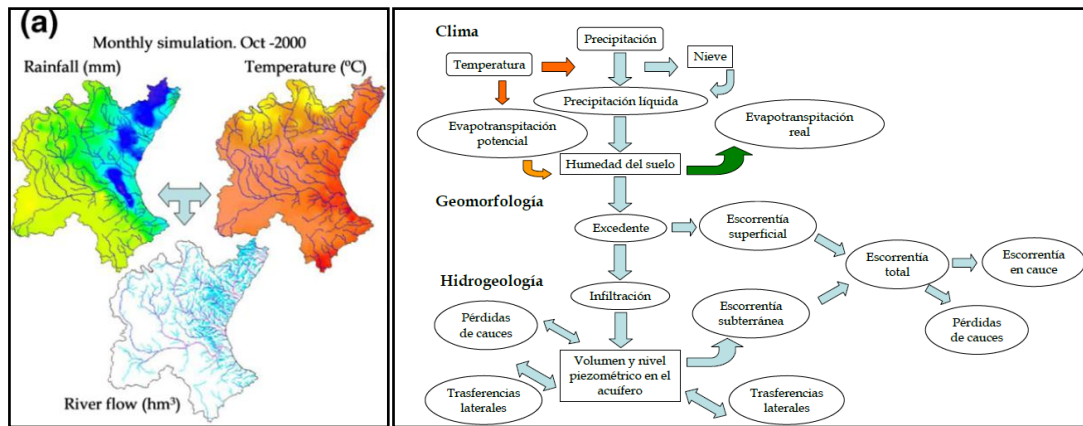


Figura 1. Datos y funcionamiento del modelo PATRICAL.

El modelo de simulación PATRICAL permite construir modelos del ciclo hidrológico y calidad de las aguas distribuidos espacialmente, con paso de tiempo de simulación mensual (Pérez, 2005). Los mapas mensuales de precipitación y de evapotranspiración potencial son la información de partida para el modelo.

Los modelos que se construyen realizan la simulación del ciclo hidrológico, aplicando la formulación de Témez (1977) en cada celda en que se discretiza la cuenca hidrográfica, incluyendo los factores determinantes en el sistema como son: la evapotranspiración potencial, la tipología y usos del suelo, la red fluvial teniendo en cuenta su relación con los acuíferos, las transferencias laterales entre masas de agua subterránea y los niveles piezométricos de las mismas.

El PATRICAL puede funcionar en régimen natural, donde no se tiene en cuenta la acción antrópica y por tanto no existen infraestructuras de gestión de recursos hídricos como presas o azudes, ni extracciones o bombeos artificiales, o en régimen alterado antrópicamente. En este último caso incluye la evolución temporal y distribución espacial de los retornos de riego que recargan los acuíferos, y las extracciones de aguas subterránea.

La cuenca que se modela se divide en dos zonas: una zona superior, formada por la superficie del terreno y discretizada en celdas; y una zona inferior, formada por los acuíferos que reciben agua de las celdas superiores. La zona inferior, o acuífero, representa los almacenamientos de agua subterránea que se producen en la cuenca, y las salidas de agua que se producen de la misma son el desagüe a la red de drenaje.

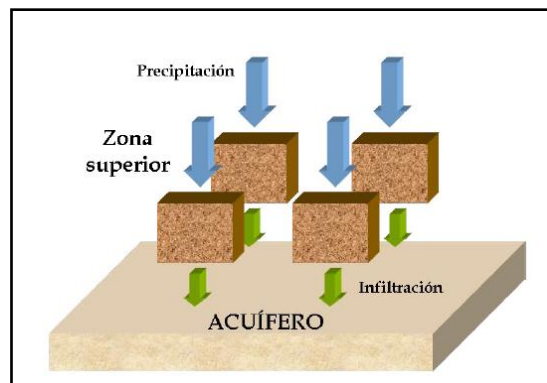


Figura 2. Modelación del ciclo hidrológico en dos capas.

Mediante la comparación entre los caudales circulantes y niveles piezométricos, se obtienen las modificaciones que se producen en la parte subterránea del ciclo hidrológico y cómo afectan estas modificaciones a los caudales superficiales. Estos resultados permiten conocer las interconexiones del subsistema subterráneo y superficial y obtener los recursos hídricos superficiales circulantes por cada cauce.

3.2. Parámetros de ajuste del modelo.

Para comprobar la fiabilidad del modelo respecto a los datos observados en cada punto de contraste analizado se empleará el uso de dos estadísticos muestrales, el porcentaje de sesgo o BIAS relativo y el coeficiente de Nash.

El porcentaje de sesgo se define como: *“El porcentaje de sesgo (PBIAS) mide la tendencia media de los datos simulados de ser mayores o menores que sus homólogos observados. El valor óptimo de PBIAS es de 0.0, con valores de baja magnitud indicando precisión en la simulación del modelo. Los valores positivos indican la subestimación del sesgo en el modelo, y los valores negativos indican la sobreestimación del sesgo en el modelo.”* (Moriasi et al, 2007).

El Índice de Nash se define como: *“La eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) es un estadístico normalizado que determina la magnitud relativa de la varianza residual (“ruido”) en comparación con la varianza de los datos de medición (“información”). El NSE indica cómo de bien los datos observados se ajustan frente a los datos simulados.”* (Moriasi et al, 2007).

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * (100)}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right]$$

Donde Y_i^{obs} es el valor observado, Y_i^{sim} es el valor calculado, Y^{mean} es la media de todos los valores observados y n el número de datos analizados.

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS (%)		
			Streamflow	Sediment	N. P
Very good	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 15$	$PBIAS < \pm 25$
Good	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 30$	$\pm 25 \leq PBIAS < \pm 40$
Satisfactory	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$\pm 30 \leq PBIAS < \pm 55$	$\pm 40 \leq PBIAS < \pm 70$
Unsatisfactory	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$PBIAS \geq \pm 55$	$PBIAS \geq \pm 70$

Tabla 1. Rango de valores de los estadísticos PBIAS y NSE.

Figura x. Rango de valores de los estadísticos PBIAS y NSE de ajuste del modelo.

La calificación del ajuste según los valores obtenidos de los estadísticos muestrales son los mostrados en la figura x. Para este estudio se tomará como referencia los valores asociados a los caudales o Streamflow, ya que las muestras a analizar serán las aportaciones hídricas de los cauces fluviales. El rango de valores será el siguiente:

- **PBIAS:** Según Moriasi, un valor por debajo de un $\pm 10\%$ de dispersión se considerará un ajuste muy bueno, en el que los valores modelizados se parecerán mucho a los observados. Un valor comprendido entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$ será un ajuste bueno, entre $\pm 15\%$ y $\pm 25\%$ el ajuste será satisfactorio, y todo valor superior a un $\pm 25\%$ es indicativo de un ajuste insatisfactorio, y por tanto existirá una diferencia significativa entre los datos modelizados y observados.
- **Coefficiente de Nash:** Un valor del coeficiente NSE por encima de 0.75 es indicativo de un ajuste muy bueno, en el que la forma de los datos modelizados presenta muchas similitudes respecto a los observados. Un valor comprendido entre 0.75 y 0.65 implica un ajuste bueno, entre 0.65 y 0.5 representa un ajuste satisfactorio, mientras que todo valor inferior a 0.5 quiere decir que la forma entre series no presentan grandes similitudes, y por tanto se trata de un ajuste insatisfactorio.

3.3. Sistemática.

Para cada sistema de explotación se han empleado los mismos procedimientos y métodos antes descritos, en un mismo orden, que se resume a continuación:

3.3.1. Descripción general.

En primer lugar, para conocer el sistema de explotación se describen todos y cada uno de los elementos que lo conforman. Se definen los ríos, embalses, y masas de agua subterránea que representan puntos característicos de zonas relevantes para el ámbito de estudio.

3.3.2. Relación Sistema de explotación y masas de agua subterránea.

3.3.2.1. Manantiales, lagos y humedales.

Mediante la información del IGME se representan todos los manantiales, lagos y humedales (IGME, DGA 2010) presentes en la demarcación Hidrográfica del Júcar, y se estudian con el fin de conocer cuáles de ellos están relacionados con los cauces superficiales y cuáles se encuentran desconectados de la red fluvial.

3.3.2.2. Relación río-acuífero.

Haciendo uso de la información que proporciona el IGME (IGME, DGA 2010) se observan los tramos de cauce en los que el acuífero aporta recurso hídrico al río -denominados tramos de río ganador-, los tramos en los que el río infiltra los recursos al acuífero -tramos de río perdedor- o los tramos en los que, según la época del año y la climatología, se produce una situación u otra -tramos de río variable-. Con estos tramos se puede analizar el comportamiento río-acuífero a lo largo del recorrido de los cauces estudiados.

3.3.2.3. Masas de agua subterránea.

Con las masas de agua subterránea descritas con anterioridad, la información que se extrae de la relación río-acuífero y los datos conocidos de manantiales, lagos, y humedales,

e intersectando todos estos datos entre sí, se puede deducir qué masas de agua subterránea descargan a la superficie y por qué lugares.

3.3.3. Masas de agua superficial y puntos de contraste.

En el Plan Hidrológico del Júcar se definen las masas de agua superficial en las que están subdivididos los ríos del sistema, dando lugar a que el PATRICAL simule en dichos puntos los recursos hídricos. Para contrastar si el modelo realiza una simulación veraz, se definen los puntos en los que existe un aforo o un embalse, ya que ambos miden los caudales realmente observados en los puntos en los que están instalados, y se intersectan los datos que el modelo calcula con los caudales realmente observados, obteniendo si el modelo se ajusta a la realidad o no.

3.3.4. Análisis resultados del modelo actual.

Una vez conocidos los puntos de masas de agua superficial en los que contrastar el modelo, se realiza un análisis de los caudales que la simulación arroja en dichos puntos. Consiste en efectuar un análisis sobre cómo están formados los caudales calculados, es decir, las proporciones de caudales que llegan de aportes superficiales y los que llegan de aportes subterráneos. Además, se evaluarán los estadísticos de ajuste del modelo para conocer si los caudales realmente observados se parecen, en la forma de la serie y el caudal de agua, a los datos calculados.

3.3.5. Conclusiones.

Con el análisis realizado en los puntos de contraste se conoce como actúa el modelo y los fallos de ajuste que tiene. Se propondrán los posibles aspectos para mejorar y los parámetros de cálculo a modificar para realizar estas mejoras.

3.3.6. Segunda versión del modelo.

El último paso será evaluar una segunda versión del modelo, modificando la información respecto a la geomorfología del terreno que emplea el modelo en su primera versión -el mapa geológico de España, con escala de 1:50,000-, por el mapa litológico -con escala 1:200,000-, que presenta un mayor detalle. Con los nuevos datos de los estadísticos mensuales se efectuará una comparación respecto a los resultados obtenidos con la primera versión y se concluirá si es más representativo de la realidad, o si por el contrario el nuevo modelo se comporta de manera peor.

4. SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN.

4.1. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN CÉNIA-MAESTRAZGO

AUTOR: FRANCISCO JAVIER MUÑOZ DEL PRADO

4.1.1. Descripción del Sistema.

Este sistema de explotación se encuentra en la parte norte de la demarcación hidrográfica del Júcar y engloba el tramo entre el río Cénia, que es limitante entre la comunidad autónoma de Cataluña y la Comunidad Valenciana hasta el barranco de la Chinchilla. La superficie total que tiene es de 2,000 km² aproximados -Figura 3-.

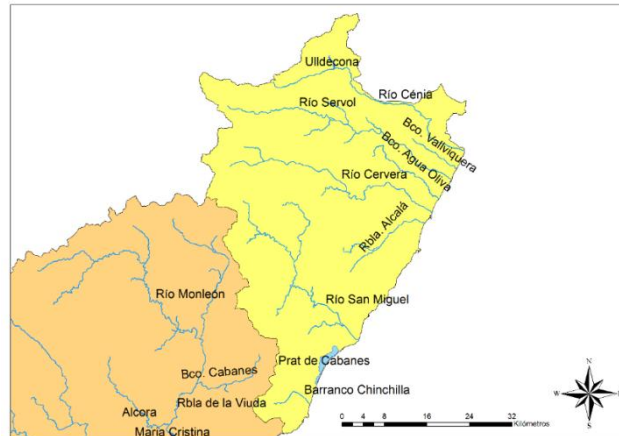


Figura 3. Masas de agua superficiales del sistema de explotación Cénia-Maestrazgo.

Acerca de las componentes superficiales del sistema, la gran mayoría se comporta de la misma manera, puesto que en sus zonas media y baja la reducción de pendientes y las formaciones de la Plana que se observarán en las masas de agua subterránea ocasionan que no alcancen al mar la gran mayoría de los caudales superficiales, a excepción de episodios de avenidas. El cauce más importante el río Cénia, de 49 km de longitud, que se encuentra en el límite norte del sistema de explotación. En él se encuentran dos tramos de diferentes características:

- Por una parte, en el tramo de cabecera del río Cénia la vegetación existente es frondosa además de presentar unas pendientes elevadas -Imagen 1-.



Imagen 1. Tramo del río Cénia en su curso alto.

- Al contrario, en la zona media y baja de su curso la vegetación se reduce considerablemente, aparecen zonas de cultivos y poblaciones junto al cauce y también la pendiente en el cauce es menor -Imagen 2-.



Imagen 2. Desembocadura del río Cénia.

El resto de componentes superficiales del sistema, por orden de desembocadura litoral de norte a sur es el siguiente:

- Barranco de Valltiquera: Se trata de un barranco de 59 km de longitud cuya cabecera se encuentra próxima a la zona litoral a una altitud baja, que carece de componente subterránea a lo largo de todo su recorrido.
- Río Servol: El río Servol de 59 km de longitud, cuyo recorrido de cauce es prácticamente paralelo al del río Cénia. De hecho en él también se pueden distinguir dos zonas como en el Cénia, con el tramo alto del río con vegetación y pendientes elevadas y con un tramo medio y bajo donde se reduce esta pendiente y el recurso hídrico superficial se infiltra, hasta el punto de que exceptuando los caudales originados por alguna avenida no llega componente superficial a la desembocadura del río -Imagen 3-.



Imagen 3. Desembocadura del río Servol tras una avenida.

- Barranco Agua-Oliva: El barranco Agua-Oliva se comporta de la misma manera que el barranco de Valltiquera, se trata de un barranco con su nacimiento próximo a la zona litoral a una altitud no demasiado elevada, con una pendiente baja y careciendo de componente subterránea en todo su recorrido, que es aproximadamente de unos 22 km de longitud.
- Río Cervera: Presenta similitudes respecto a las cuencas de los ríos Servol y Cénia, con la excepción de que en su cabecera no recibe aporte superficial desde los montes donde se encuentra, por tanto sólo existe agua en episodios de avenidas con cierto relevante, pues en caso contrario toda su componente superficial se infiltra al terreno. Tiene una longitud de 50 km.
- Río Alcalá: El río Alcalá de 18 km de longitud discurre paralelamente al mar y al igual que los ríos anteriores mencionados, todo su caudal superficial se infiltra a excepción de las grandes avenidas.

- Río San Miguel: El río San Miguel presenta todas las similitudes ya citadas en los anteriores ríos del sistema, con la única diferencia que durante el periodo estival aparece un ligero caudal que se infiltra en la Plana de Oropesa, por lo que al igual que los anteriores sólo porta recurso superficial tras una gran avenida.

El único sistema de gestión y explotación dentro del sistema hídrico del Cénia-Maestrazgo es el embalse de Ulledecona. Este embalse se encuentra en la cabecera del río Cénia, presentando una tipología de presa de gravedad y una capacidad máxima de embalse de 10 hm³. Las funciones principales del mismo son la gestión para riegos y la laminación de avenidas -Imagen 4-.



Imagen 4. Embalse de Ulledecona.

En cuanto a las masas de agua subterránea, el sistema contiene seis masas de agua subterránea, tal como se aprecia en la figura 6: Puertos de Beceite, Plana de Cénia, Plana de Vinaroz, Maestrazgo Occidental y Oriental y Plana de Oropesa – Torreblanca.

Tal y como se ha comentado en la descripción de los cauces superficiales más relevantes del sistema, y como se analizará posteriormente en la relación río-acuífero, en las Planas de Vinaroz, Oropesa-Torreblanca y Cénia se producen las infiltraciones de la componente superficial de los ríos a la subterránea debido a su elevada permeabilidad.

4.1.2. Relaciones Río-Acuífero.

4.1.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.

En el sistema del Cénia se encuentran un total de 11 manantiales –Figura 4-, distribuidos de la siguiente forma:

- La Font dels Rossegadors y la Font de Sant Pere, que se encuentran en el norte del sistema, muy próximos al río Cénia.
- Ullal del Molí, Ullal la Fou, la Font Vella y la Font del Mas d’Aligà, situadas en la cabecera del río Servol
- Font de San Vicent, ubicada en la cabecera del barranco de Pego-Oliva.
- Font de les Piques, que se encuentra en el tramo medio del río Cervera.
- Font de Company y Font de la Vila ubicadas en el río san Miguel.
- Las Fuentes de Alcocebre, situada en la playa del mismo municipio de Alcocebre.



Figura 4. Manantiales del Sistema Cénia-Maestrazgo.

También es relevante la existencia del parque natural Prat de Cabanes-Torreblanca -Ilustración 5-, ubicado entre los municipios de Cabanes y Torreblanca, con una extensión de aproximadamente 865 hectáreas. Este parque natural ha sido designado en la convención RAMSAR dentro de la “Lista de Humedales de Importancia Internacional”.



Imagen 5. Prat de Cabanes-Torreblanca.

4.1.2.2. Relaciones Río-Acuífero.

Según la información obtenida del Instituto Geológico y Minero de España (IGME-DGA, 2010), se puede representar el mapa con la relación río-acuífero del sistema Cénia-Maestrazgo -Figura 6-, siendo los ríos con cauce ganador aquellos que en algún punto reciben un aporte de recurso hídrico por parte de la componente superficial, los ríos de carácter perdedor aquellos que ocurre en el caso contrario, se infiltra el recurso a la componente subterránea, y de carácter variable aquellos tramos dónde en función del clima y la época del año se comportan de una manera u otra :

Con la representación de esta información se pueden obtener varias conclusiones:

- En casi todo el sistema del Cénia-Maestrazgo exceptuando las cabeceras de los ríos Cénia y Servol los cauces tienen un carácter perdedor; esto implica que como se ha comentado previamente todo el recurso hídrico superficial del sistema se infiltra (a excepción de episodios con una avenida relevante) a las masas subterráneas del sistema y por tanto las desembocaduras de los cauces al mar carecen de agua superficial.

- En la cabecera del río Cénia hay un aporte de agua subterránea a la componente superficial. Esto puede ser debido a los citados manantiales de Fonts dels Rossegadors y Font de Sant Pere, vertiéndose el recurso hídrico que emana de ellos al cauce.
- En el río Servol ocurre como en el caso previo, la existencia de los manantiales Ullal del Molí, Ullal la Fou, la Font Vella y la Font del Mas d'Aligà implica un aporte al cauce superficial del río por ellos.

4.1.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Si se intersecta la información de la existencia de lagos, humedales, manantiales y los comportamientos río-acuífero con las masas de agua subterránea existentes en el sistema del Cénia, se puede deducir cuales de estas masas descargan a la superficie y cuales por el contrario no –Figura 5-:

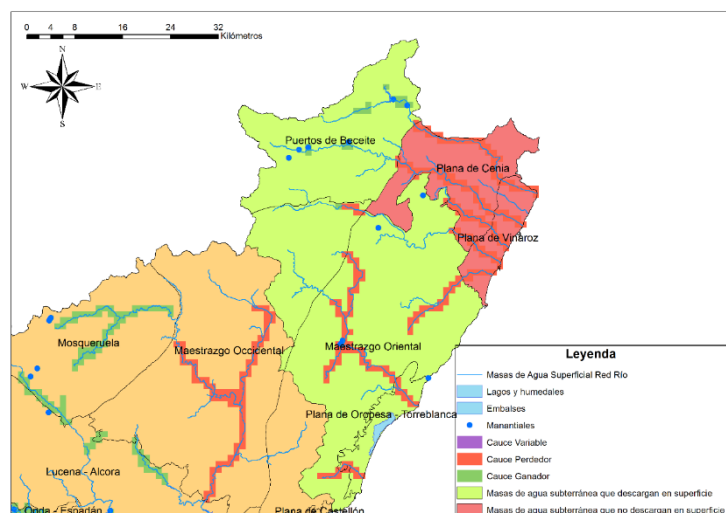


Figura 5. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Cénia-Maestrazgo.

Para saber con una mayor exactitud el comportamiento de estas masas se desagregarán en sectores que las conformen, pues algunas de ellas tienen una gran extensión y su comportamiento puede no ser representativo de la misma –Figura 6-:

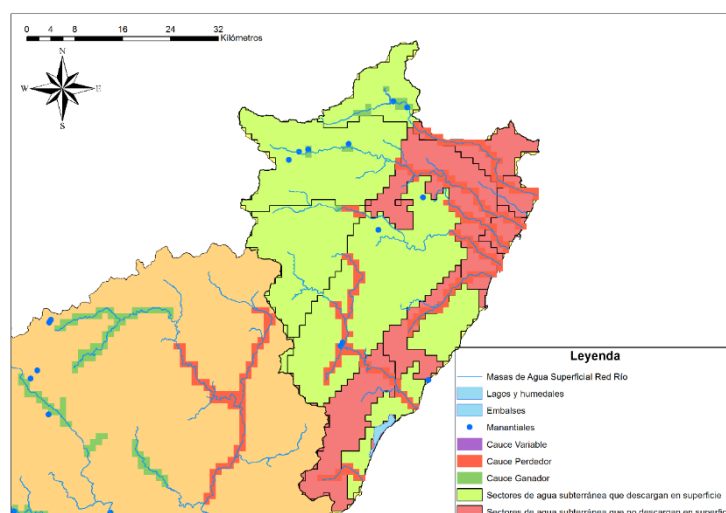


Figura 6. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Cénia - Maestrazgo.

Con esta información se puede razonar que probablemente los sectores del Maestrazgo Oriental que no tienen un punto de salida a la superficie acaben portando ese recurso hídrico al Prat de Cabanes, o en su defecto lo viertan directamente al mar. En el caso de las Planas de Vinaroz y Cénia debido a su alta permeabilidad lo que sucede es que los cauces superficiales de los ríos que se encuentran en ella infiltran todo el agua al terreno.

4.1.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el sistema del Cénia existen un total de ocho estaciones de aforos de la Confederación Hidrográfica del Júcar donde se observan los caudales superficiales reales que pasan por ellos –Figura 7-. Todas las estaciones de aforo exceptuando la del río Servol en desembocadura se encuentran en el río Cénia; esto es debido a que el resto de cauces no contienen flujo superficial de continuo.

Acerca de los puntos modelizados de masas de agua superficial que el PATRICAL escoge también están representados en la figura 7:

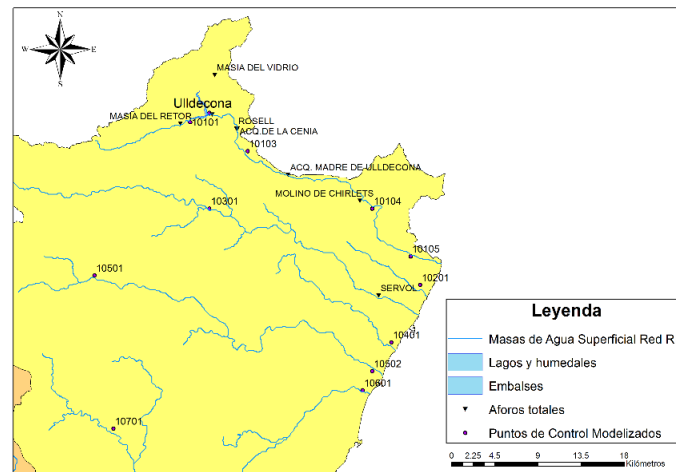


Figura 7. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Cénia – Maestrazgo.

4.1.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.

Con los puntos de masas de agua modelizados y las estaciones de aforos de la CHJ, se efectuará un contraste de los valores de caudales superficiales en dichos puntos con los observados en las estaciones y mediante el uso de los estadísticos muestrales PBIAS y Nash se observará la fiabilidad del modelo.

A la hora de escoger los puntos de contraste en el sistema del Cénia se deberán de tener en cuenta varios criterios:

- Se descartarán los aforos de las acequias de la Cénia y la Madre de Ulldecona puesto que no observan el caudal de ningún cauce natural, por tanto no es objeto de estudio.
- Los aforos de San Rafael y de la Masía del Vidrio no se analizarán puesto que no existen cauces superficiales relevantes donde se ubican.

- Los aforos de Rosell y Molino de Chirlets no son adecuados para observar el ajuste del modelo debido a que se encuentran aguas abajo del embalse de Ulledecona, por tanto el caudal que pasa por ellas se encuentra alterado y no a régimen natural, que es como el modelo funciona.

Por tanto, los puntos que se analizarán para contrastar el modelo son:

1. Río Cénia en el aforo Masía del Retor.
2. Río Cénia en su entrada al embalse de Ulledecona.

4.1.5. Análisis de los resultados del modelo original.

4.1.5.1. Punto de contraste del río Cénia en el aforo Masía del Retor.

El contraste de caudales del sistema del Cénia el aforo Masía del Retor es el mostrado en la figura 8:

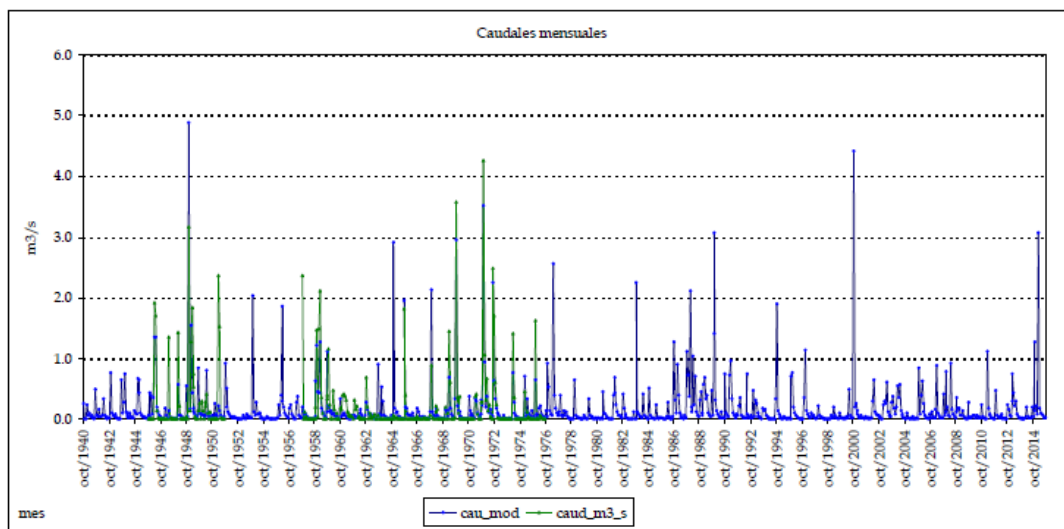


Figura 8. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el aforo Masía del Retor.

Los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados y los estadísticos muestrales para las series desde el 1940 y desde el 1980 se muestran en la tabla 2:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Mas del Retor	Año 40	6.71	1.43	4.05	5.48	26%	-18.30%	0.55
	Año 80	0.00	1.41	4.05	5.47	26%	-	-

Tabla 2. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Cénia en Mas del Retor.

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados en el punto estudiado el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- En el contraste en el aforo Masía del Retor sólo se obtienen datos para la serie histórica desde el 1940. Esto es debido a que los datos observados de los que se disponen solamente abarcan el período histórico entre 1945 y 1976, existiendo además un salto entre 1951 y 1957 en el cual no existen datos de caudales, por lo

que el número de datos con el fin de contrastar los caudales observados-modelizados a partir del año 1980 es nulo.

- El valor del coeficiente de Nash para la serie histórica desde 1940 en el aforo Masía del Retor es 0.55, que según Moriasi significa que el ajuste es satisfactorio.
- El valor estadístico del bias relativo es de un -18.30%, por lo que el modelo genera menos aportaciones de las que en realidad se observan en el aforo de Mas del Retor. El valor del bias relativo al estar comprendido en el rango entre un $\pm 15\%$ hasta un $\pm 25\%$ también ajusta satisfactoriamente.
- En este punto de contraste al obtener resultados positivos en el ajuste no sería necesario aumentar o disminuir las aportaciones en el modelo.

4.1.5.2. Punto de contraste de las entradas al embalse de Uldecona.

En las entradas al embalse de Uldecona el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 9:

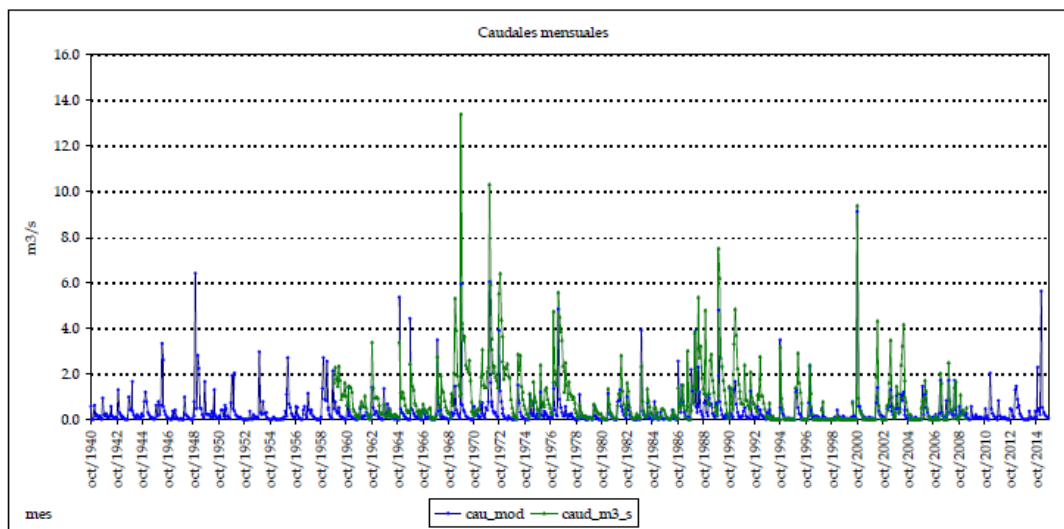


Figura 9. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas al embalse de Uldecona.

En la tabla 3 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Uldecona	Año 40	29.15	4.28	7.27	11.55	37%	-60.37%	0.33
	Año 80	22.13	4.24	7.01	11.25	38%	-49.16%	0.46

Tabla 3. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Cénia entradas al embalse de Uldecona.

Con los resultados obtenidos en las entradas al embalse de Uldecona se pueden analizar varios puntos:

- En la serie desde el año 1940, concretamente entre los años 1960 y 1978 se aprecia que el caudal observado es superior al modelizado en todo este rango temporal. Por ello del bias relativo en este punto presenta una dispersión del -60%, que según Moriasi es insatisfactorio. En cuanto al coeficiente de Nash

presenta un valor de 0.33, lo que implica que la forma de las series históricas no es demasiado similar. Al estar por debajo de 0.5 también se califica como un ajuste insatisfactorio.

- En la serie desde el año 1980 el modelo se ajusta con una mayor precisión al observado, exceptuando entre los años 1987 y 1993 en que como el caso anterior el observado es mayor al modelizado. El valor del coeficiente de Nash en esta serie histórica es de 0.45, siendo también insatisfactorio el ajuste, pero próximo a estarlo, teniendo una mayor similitud entre la forma de las series históricas. La dispersión entre los valores aumenta, siendo su valor de bias relativo un 49%, resultando insatisfactorio.
- Por tanto en este punto se deberían de aumentar las aportaciones al sistema en gran medida, en torno a un 45-50%. Probablemente debido al poco valor de las aportaciones subterránea con el nuevo modelo que simulará mejor las descargas de las masas de agua subterránea a la superficie se reduzca esta gran disparidad entre aportaciones.

4.1.6. Conclusiones del análisis del modelo original.

Con los contrastes modelo-observado en los puntos de estudio del sistema del Cénia-Maestrazgo, las conclusiones que se pueden obtener del funcionamiento de la versión actual del modelo en el sistema son:

1. El PATRICAL es un modelo empleado por la Confederación Hidrográfica del Júcar para representar con exactitud el comportamiento de todas las masas de agua dentro de la demarcación Hidrográfica. Para ello, dispone de unos parámetros de ajuste y calibración que están obtenidos para que simule adecuadamente cuencas de grandes superficies y caudales portantes como la cuenca del Júcar. Por tanto en cuencas de menor superficie y menores caudales, como las que existen en el sistema de explotación del Cénia, el ajuste será menos fiable que un modelo que únicamente simule cuencas de pequeña superficie y pequeños caudales.
2. En el sistema del Cénia, y concretamente en las entradas al embalse de Ulldecona es mayor el caudal observado que el simulado. Esto puede ser debido a que el cauce reciba un aporte de recurso hídrico por parte de la masa de agua subterránea de los Puertos de Beceite, lo que justificaría esa diferencia de caudales, y como consecuencia mejorarían los valores del bias relativo y la similitud en la forma de ambas series históricas.

4.1.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.

Para la evaluación de los caudales simulados respecto a los observados con la segunda versión del modelo PATRICAL en el sistema Cénia-Maestrazgo sólo se estudiará dicho contraste en el punto del río Cénia en las entradas al embalse de Ulldecona. Esto es debido a que las aportaciones del río Cénia en el aforo de Mas del Retor son significativamente inferiores respecto a las otras, carecen de datos observados a partir del año 1976, y además los resultados en el embalse de Ulldecona presentan una mayor incertidumbre y por tanto es posible que mediante la implantación del mapa litoestratigráfico en vez del geológico se comporte de manera diferente el modelo.

4.1.7.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Ulldecona.

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en el embalse de Ulldecona se muestra en la figura 10:

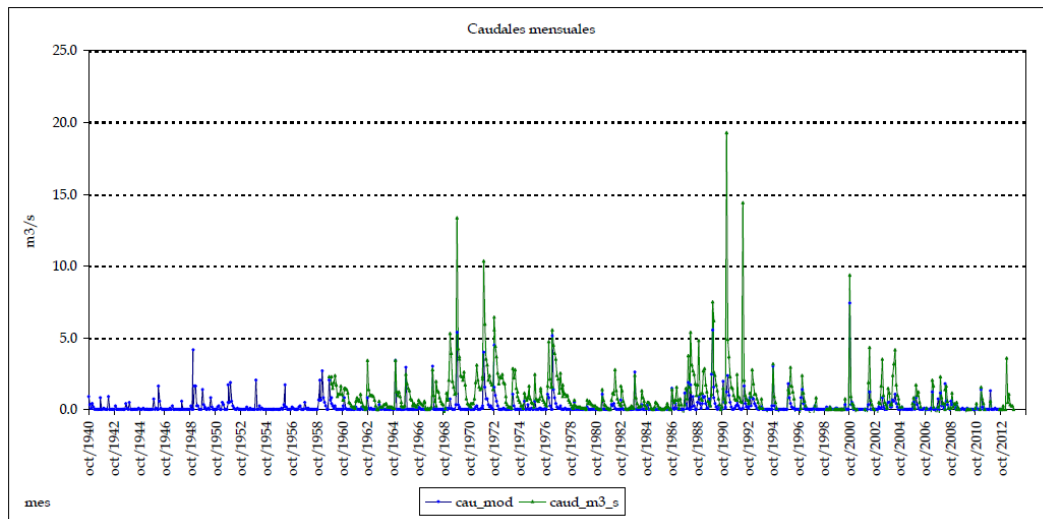


Figura 10. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en las entradas al embalse de Ulldecona.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en las entradas del río Cénia al embalse de Ulldecona se muestran en la tabla 4:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Ulldecona	Año 40	27.38	2.09	5.25	7.33	28%	-73.21%	0.18
	Año 80	20.36	2.24	5.28	7.53	30%	-63.01%	0.22

Tabla 4. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Cénia entradas al embalse de Ulldecona.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- Los valores de las aportaciones observadas son superiores a las simuladas, en más de un 60% tanto en la serie desde el año 1940 como en la serie desde 1980, resultando un ajuste insatisfactorio.
- Los coeficientes de forma presentan unos valores reducidos, de 0.18 y 0.22 respectivamente. Ambos según el criterio de Moriasi son representativos de un ajuste insatisfactorio.

4.1.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.

Una vez se disponen de los datos de aportaciones simuladas y de estadísticos muestrales de ajuste para el modelo original y el modelo actualizado las conclusiones que se extraen son las siguientes:

1. Como se aprecia en la tabla 5, la segunda versión del modelo PATRICAL ha generado peores resultados en las entradas al embalse de Uldecona que en la primera versión.
2. La diferencia entre aportaciones observadas-simuladas ha aumentado un 13% mientras que la similitud en la forma de las series históricas se ha reducido más de un 15% para las dos series históricas analizadas.
3. Se puede concluir que la actualización del modelo PATRICAL para el sistema de Cénia-Maestrazgo ha sido insatisfactoria, funcionando peor que la versión actual del modelo.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Uldecona	Año 40	29.15	11.55	-60.37%	0.33	7.33	-73.21%	0.18
	Año 80	22.13	11.25	-49.16%	0.46	7.53	-63.01%	0.22

Tabla 5. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Cénia-Maestrazgo

4.2. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN.

AUTOR: FRANCISCO JAVIER MUÑOZ DEL PRADO

4.2.1. Descripción del Sistema.

El sistema del Mijares se encuentra dentro de las provincias de Teruel y Castellón y abarca todas las subcuencas litorales desde el municipio de Benicassim hasta el límite provincial entre Castellón y Valencia. Su extensión total es aproximadamente de 4,800 km² -Figura 11.



Figura 11. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón.

Su masa superficial más relevante es el río Mijares, de una longitud total de 156 km Tiene tres tramos con diferente comportamiento:

- Tramo Alto: En su nacimiento en la provincia de Teruel, concretamente en la sierra de Gudar -Imagen 6.a-, el río Mijares discurre por una meseta formada por materiales bastante impermeables, lo que origina que casi la totalidad que recibe el río en este tramo sea superficial. También recibe un gran aporte de recurso hídrico a través de los manantiales de Babor, Mas Royo y la Escarihuela en este tramo. El tramo alto del Mijares finaliza en su llegada al embalse de Arenós.
- Tramo Medio: Tras su paso por Arenós el río atraviesa las sierras de Espadán y Peñagolosa -Imagen 6.b-, donde existe una pendiente elevada, además de la existencia de crecidas en la zona debido a la impermeabilidad de los materiales de la sierra de Espadán. En este tramo se produce la confluencia del río Villahermosa al río Mijares. El tramo medio del Mijares finaliza en su llegada al embalse de Schar.



Imagen 6.a) Río Mijares en la sierra de Gudar. y b) Río Mijares en la sierra de Espadán.

- Tramo Bajo: Al salir del embalse de Sichar, el río Mijares atraviesa la Plana de Castellón, donde se produce una infiltración de recurso hídrico superficial, recargando al acuífero. En la mitad de este tramo se le une la rambla de la Viuda para acabar en el mar Mediterráneo, formando una laguna en la desembocadura -Imagen 7-.



Imagen 7. Desembocadura del río Mijares.

A lo largo de su recorrido el río Mijares tiene varios afluentes, siendo los más importantes el río Villahermosa y la Rambla de la Viuda. El resto de afluentes relevantes en orden de aparición son los ríos Valbona, Albentosa, Mora, Morrón, el barranco de Maimona y Cortes.

- Río Villahermosa: Se trata de un río de 60 km de longitud de cauce -Imagen 8.a- que discurre paralelo al río Mijares, presentando una fuerte pendiente y compartiendo las características de su tramo medio. Confluye con el Mijares a la altura de Vallat.
- Rambla de la Viuda: El cauce de la Rambla de la Viuda -Imagen 8.b- , que presenta un total de 81 km de longitud, se sitúa paralela a la costa. Tiene como afluentes los ríos Monleón y Lucena, que presentan un régimen bastante regular, hasta que al alcanzar el maestrazgo oriental y la plana de Castellón, debido a que el nivel freático de la zona se encuentra por debajo del cauce, el conjunto presenta un comportamiento muy irregular, con períodos de fuertes avenidas y períodos secos donde existe una fuerte infiltración por parte del cauce superficial.



Imagen 8. a) Río Villahermosa a su paso por Cedramán, Castellón. y b) Rambla de la Viuda en Castellón.

Las otras masas de agua superficiales importantes del sistema son los ríos Seco, Veo y Belcaire. Estos ríos, de longitudes de 26, 42 y 18 km respectivamente, son ríos que comparten las mismas características, presentan periodos de fuertes avenidas junto con estiajes largos, en los que se sitúan a niveles mínimos o inexistentes de caudales superficiales.

Acercas de las infraestructuras de gestión existentes en el sistema del Mijares se encuentran como más relevantes los embalses de Arenós y Schar en el río Mijares, y el embalse de María Cristina en la Rambla de la Viuda.

- Embalse de Arenós: Su uso principal es para riego. Su tipología de presa es de materiales sueltos, y presenta una capacidad máxima de 65 hm^3 –Imagen 9.a-.
- Embalse de Schar: Los usos principales del embalse de Schar son el riego y la producción de energía –Imagen 9.b-. Presenta una presa de gravedad y tiene una capacidad máxima de embalse de 45 hm^3 .



Imagen 9. a) Embalse de Arenós. y b) Embalse de Schar.

- Embalse de María Cristina. Las funciones principales del embalse de María Cristina son el riego y la laminación de avenidas. Su tipología de presa es de gravedad y tiene una capacidad máxima de 18.5 hm^3 –Ilustración 10-.

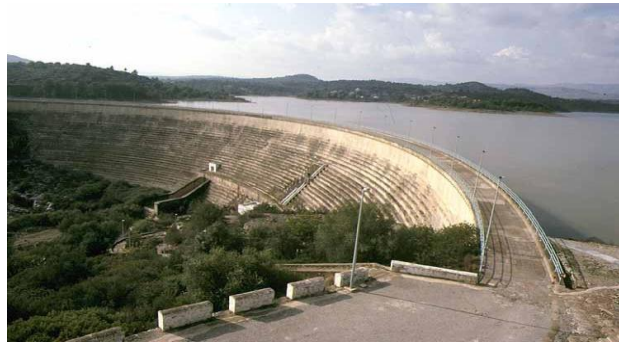


Imagen 10. Embalse de Maria Cristina.

El resto de infraestructuras existentes en el sistema se distribuye de la siguiente manera:

- El embalse de los Toranes, Mora, Balagueras, Cirat, Valat y Ribesalbes en el río Mijares.
- El embalse de Alcora para el río Lucena.
- El embalse de Onda para el río Veo.

4.2.2.2. Relaciones Río-Acuífero.

Según la información obtenida del IGME, se puede representar el mapa con la relación río-acuífero del sistema Mijares-Plana de Castellón –Figura 13-, siendo los ríos con cauce ganador aquellos que en algún punto reciben un aporte de recurso hídrico por parte de la componente superficial, los ríos de carácter perdedor aquellos que ocurre en el caso contrario, se infiltra el recurso a la componente subterránea, y de carácter variable aquellos tramos dónde en función del clima y la época del año se comportan de una manera u otra :

Con la representación de esta información se pueden observar diversos aspectos en el sistema:

- En todo el sistema del Mijares a excepción de la Rambla de la Viuda, todos los cauces superficiales reciben del acuífero un aporte hídrico. Estos aportes en la mayoría de los casos se deben a la existencia de manantiales, que conectan con los cauces superficiales.
- El carácter perdedor del cauce de la Rambla de la Viuda como ha sido comentado previamente es debido a que el nivel freático se sitúa por debajo del cauce de la misma.
- Cuando todas las masas de agua superficiales llegan a la Plana de Castellón se produce una infiltración y recarga del acuífero de la plana.

4.1.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Si se intersecta la información de la existencia de lagos, humedales, manantiales y los comportamientos río-acuífero con las masas de agua subterránea existentes en el sistema del Mijares, se puede deducir cuales de estas masas descargan a la superficie y cuales por el contrario no –Figura 13-:

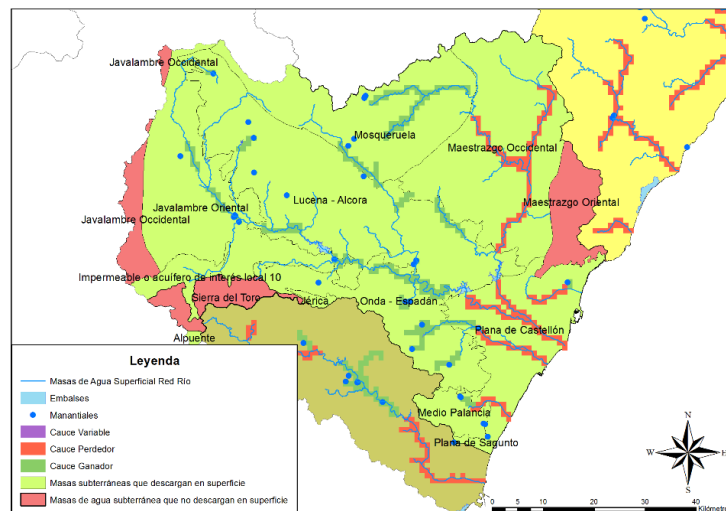


Figura 13. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Mijares-Plana de Castellón.

Para saber con una mayor exactitud el comportamiento de estas masas se desagregarán en sectores que las conformen, pues algunas de ellas tienen una gran extensión y su comportamiento puede no ser representativo de la misma –Figura 14–:

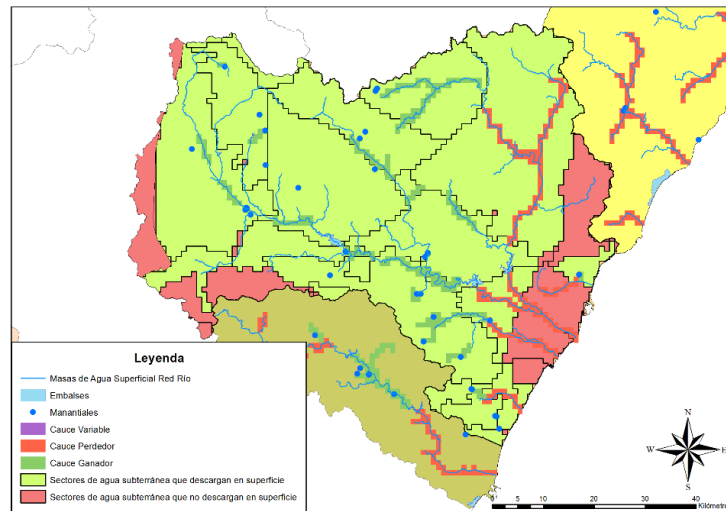


Figura 14. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Mijares-Plana de Castellón.

Con esta información se aprecia que a excepción de la Sierra del Toro, el Maestrazgo Oriental y el Javalambre Occidental el resto de masas de agua subterránea vierten en algún punto a la superficie recurso hídrico. Si se analizan los sectores de agua subterránea se aprecia como en la Plana de Castellón la mayor parte de su extensión no vierte a la superficie.

4.2.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el sistema de Mijares-Plana de Castellón existen un total de 24 estaciones de aforos de la Confederación Hidrográfica del Júcar donde se observan los caudales superficiales reales que pasan por ellos -Figura 15-. Todas las estaciones de aforo exceptuando los embalses de María Cristina y Alcora se encuentran en el río Mijares, puesto que es la componente principal del sistema y la que porta mayor caudal superficial.

Acercas de los puntos modelizados de masas de agua superficial que el PATRICAL escoge también están representados en la figura 15:



Figura 15. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Mijares-Plana de Castellón.

4.2.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.

Con los puntos de masas de agua modelizados y las estaciones de aforos de la CHJ, se efectuará un contraste de los valores de caudales superficiales en dichos puntos con los observados en las estaciones y mediante el uso de los estadísticos muestrales PBIAS y Nash se observará la fiabilidad del modelo.

A la hora de escoger los puntos de contraste en el sistema del Mijares se deberán de tener en cuenta varios criterios:

- Se descartarán los aforos de las acequias de Villarreal, Castellón-Almazora, puesto que no observan el caudal de ningún cauce natural, por tanto no es objeto de estudio.
- Los aforos de Benitandus, Cirat (Montanejos), Sot Ferrer y Montan no se analizarán puesto que no existen cauces superficiales relevantes donde se ubican.
- El embalse de Onda al encontrarse en el nacimiento del río Veo tampoco se considerará.
- Los aforos de Villarreal, la presa de Villarreal, el Colmenar, Toga, no son adecuados para observar el ajuste del modelo debido a que se encuentran aguas abajo del embalse de Ulldecona, por tanto el caudal que pasa por ellas se encuentra alterado y no a régimen natural, que es como el modelo funciona.
- Los aforos del río Albentosa al ser un afluente del Mijares de poca longitud no se estudiarán.
- Aunque sería interesante efectuar el contraste en estos puntos no se puede analizar el contraste en las estaciones de aforo del Terde y Babor, que son los manantiales principales del río Mijares porque ninguno de los puntos de masas de agua que genera el PATRICAL se encuentra próximo a las estaciones.

Por tanto, los puntos que se analizarán para contrastar el modelo son:

1. Río Mijares en su entrada al embalse de Arenós.
2. Río Mijares en el embalse de Arenós (Serie restituida al régimen Natural).
3. Río Mijares en el embalse de Sichar (Serie restituida al régimen Natural).
4. Río Lucena en el embalse de la Alcora.
5. Rambla de la Viuda en el embalse de María Cristina.

4.2.5. Análisis de los resultados del modelo original.

4.2.5.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Arenós.

El contraste de caudales del río Mijares en las entradas al embalse de Arenós es el mostrado en la figura 16:

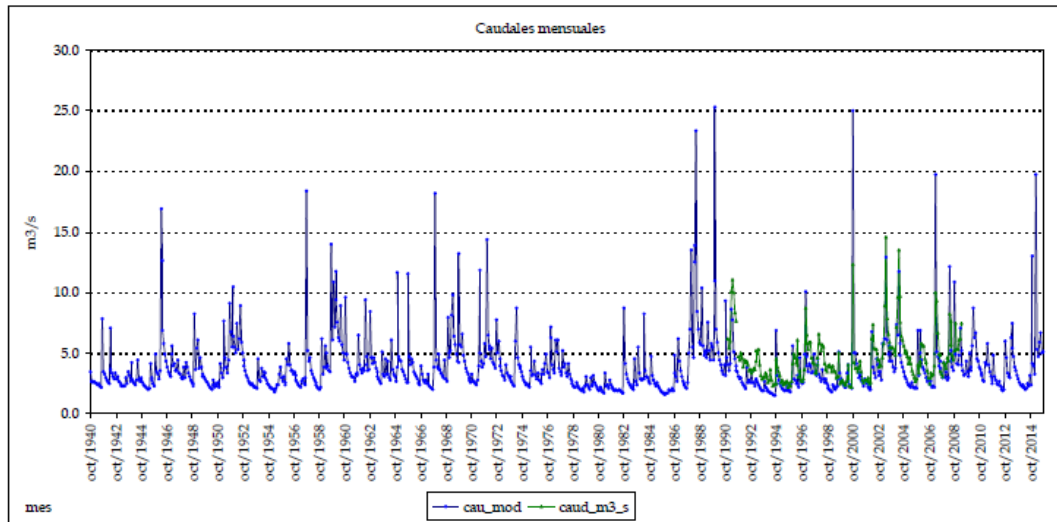


Figura 16. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas embalse de Arenós.

En la tabla 6 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q_{obs} ($Hm^3/año$)	$Q_{sim.sub}$ ($Hm^3/año$)	$Q_{sim.sup}$ ($Hm^3/año$)	Q_{sim} ($Hm^3/año$)	$\%_{sub/total}$	BIAS	NASH
Entradas Arenós	Año 40	142.02	97.86	23.61	121.48	81%	-14.47%	0.09
	Año 80	142.02	94.73	26.17	120.90	78%	-14.88%	0.09

Tabla 6. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Mijares entradas al embalse de Arenós.

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados en el punto estudiado el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- Ambas series históricas ajustan de la misma manera tanto para su bias relativo como para el coeficiente de Nash.
- Por una parte los valores de ambos bias relativos se encuentran por debajo del -15%; esto quiere decir que según Moriasi al encontrarse entre $\pm 15\%$ y $\pm 10\%$ el modelo ajusta bien, por ello no sería necesario modificar las aportaciones al modelo para este punto.
- No obstante el valor del coeficiente de Nash es muy bajo en ambas series, 0.09, por tanto el ajuste según el coeficiente de Nash es insatisfactorio. La consecuencia de esta anomalía puede residir en que el coeficiente α que emplea el modelo para este tramo no es representativo, pues la serie histórica presenta una mayor pendiente que la modelizada.

4.2.5.3. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Arenós (Serie restituida).

En río Mijares en el embalse de Arenós restituyendo la serie histórica a régimen natural el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 17:

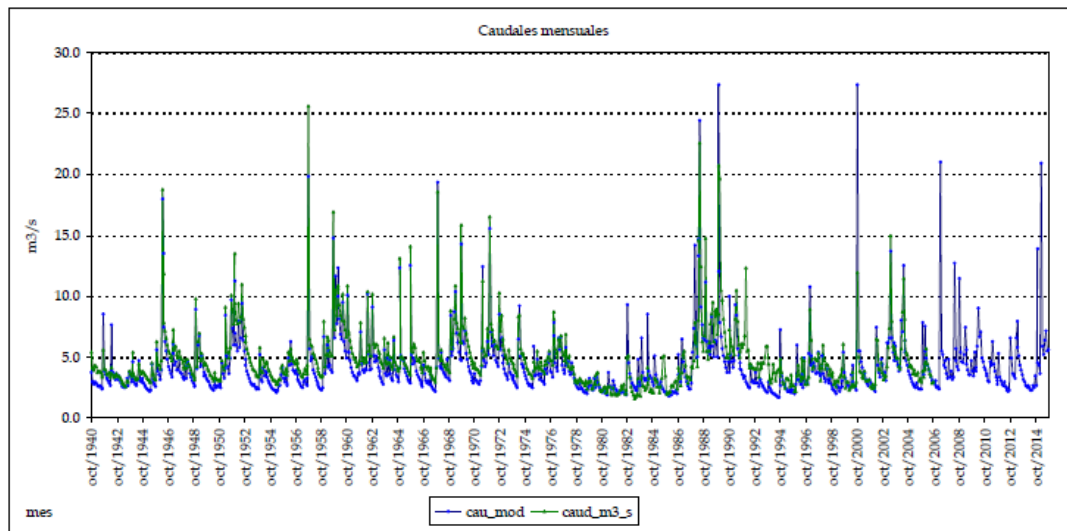


Figura 17. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Arenós (Serie restituida).

En la tabla x se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Arenós (Restituida)	Año 40	151.87	109.10	24.70	133.80	82%	-11.90%	0.68
	Año 80	138.34	105.81	27.34	133.16	79%	-3.75%	0.51

Tabla 7. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Mijares en el embalse de Arenós (Serie Restituida).

Con los resultados obtenidos en la serie restituida en el embalse de Arenós se pueden analizar varios puntos:

- En la serie desde el año 1940 el modelo el bias relativo es de un -11.90%, siendo un ajuste bueno, al encontrarse entre $\pm 15\%$ y $\pm 10\%$. Acerca del coeficiente de Nash da un valor de 0.68, por lo que al encontrarse entre 0.65 y 0.75 el ajuste es bueno .
- En la serie desde el año 1980 el modelo se comporta de manera diferente respecto a la serie de 1940. El resultado del estadístico PBIAS es de un -3.75, que al estar por debajo del $\pm 10\%$ es un ajuste muy bueno. No obstante, el ajuste por medio del coeficiente de Nash es 0.51, lo que limita el ajuste a satisfactorio.
- Al aportar resultados satisfactorios no sería necesario modificar las aportaciones del modelo para este punto.

4.2.5.4. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Sichar (Serie restituida).

En el embalse de Sichar restituyendo la serie histórica a régimen natural el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 18:

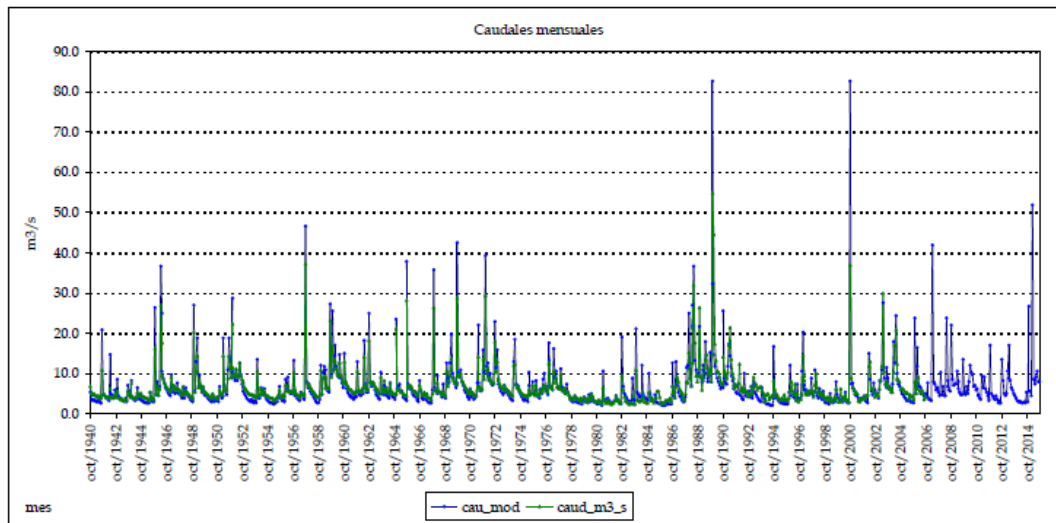


Figura 18. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Sichar (Serie restituida).

En la tabla 8 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Sichar (Restituida)	Año 40	205.92	148.06	65.72	213.78	69%	3.82%	0.51
	Año 80	204.22	146.04	71.71	217.76	67%	6.63%	0.36

Tabla 8. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Mijares en el embalse de Sichar (Serie Restituida).

Con los resultados obtenidos en la serie restituida del río Mijares en el embalse de Sichar se pueden analizar varios puntos:

- En la serie desde el año 1940 en el modelo el bias relativo es de un 3.82% siendo un ajuste muy bueno, al encontrarse por debajo del $\pm 10\%$. Acerca del coeficiente de Nash da un valor de 0.51, por lo que al encontrarse entre 0.5 y 0.65 el ajuste es satisfactorio.
- En la serie desde el año 1980 el modelo aporta un resultado del estadístico PBIAS es de un 6.63%, que al estar por debajo del $\pm 10\%$ es un ajuste muy bueno. No obstante, el ajuste por medio del coeficiente de Nash es 0.36, siendo un ajuste insatisfactorio.
- Para este punto de análisis mientras que aporta muy buenos resultados en aportaciones, las series históricas de caudales presentan en la serie desde el año 1980 resultados que, no llegando ser muy negativos, no cumplen con los requisitos para considerarse un ajuste satisfactorio, por lo que se debería de modificar el parámetro α con el fin de que ajusten mejor.

4.2.5.4. Punto de contraste de las entradas al embalse de la Alcora.

En el río Lucena en las entradas al embalse de la Alcora el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 19:

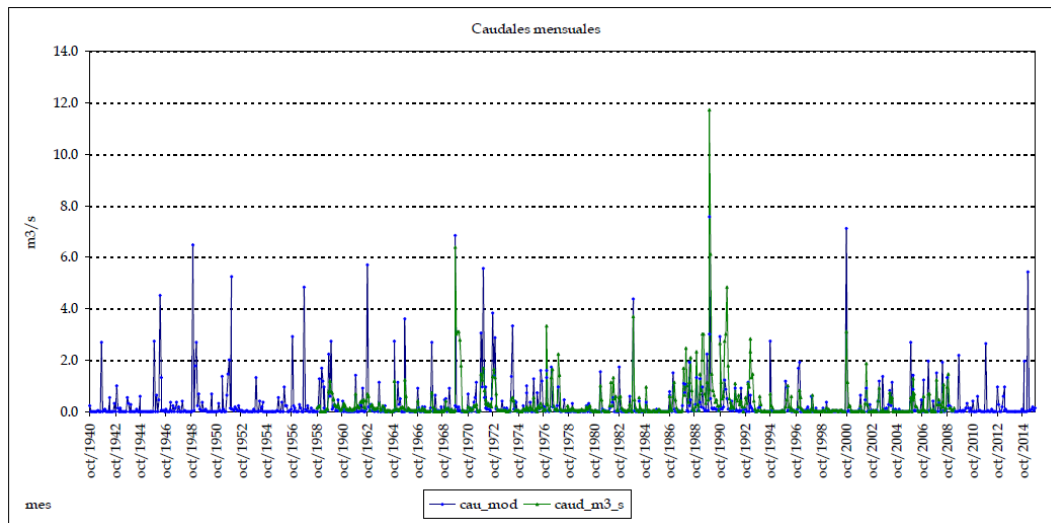


Figura 19. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Lucena en embalse de Alcora.

En la tabla x se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Lucena (Alcora)	Año 40	10.83	0.42	8.83	9.24	5%	-14.63%	0.22
	Año 80	12.19	0.41	7.90	8.31	5%	-31.80%	0.41

Tabla 9. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Lucena en el embalse de Alcora.

Con los resultados obtenidos en las entradas del río Lucena en el embalse de Alcora se pueden analizar varios puntos:

- En la serie desde el año 1940 el modelo el bias relativo es de un -14.63% siendo un ajuste bueno, al encontrarse entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$. Acerca del coeficiente de Nash da un valor de 0.22, lo que indica que las series de caudales se asemejan poco en su forma, siendo un ajuste insatisfactorio.
- En la serie desde el año 1980 el modelo aporta un resultado del estadístico PBIAS es de un -31.80%, que al ser estar por encima de una variación del $\pm 25\%$ es un ajuste insatisfactorio. Respecto al coeficiente de Nash pese a ser mayor que en la serie desde el 1940 el valor sigue siendo inferior a 0.5, dando como resultado del ajuste insatisfactorio.
- Siendo las aportaciones en el río Lucena muy inferiores respecto a las del río Mijares y del resto de cauces más relevantes de la demarcación Hidrográfica del Júcar, no se deberían modificar las aportaciones en el sistema.

4.2.5.5. Punto de contraste de las entradas al embalse de María Cristina.

En las entradas al embalse de María Cristina el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 20:

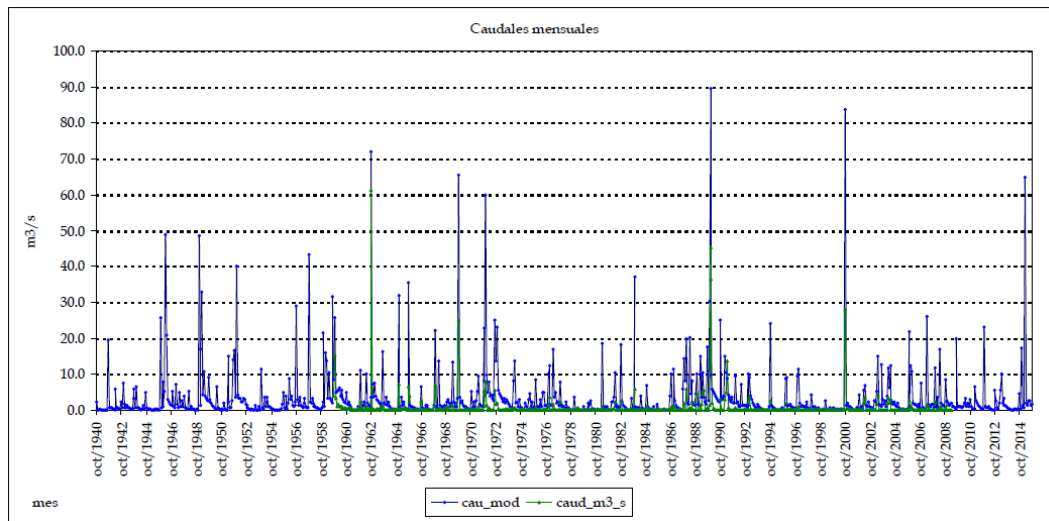


Figura 20. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de María Cristina.

En la tabla 10 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
María Cristina	Año 40	23.57	30.17	78.26	108.44	28%	359.98%	-1.63
	Año 80	21.68	27.93	74.61	102.54	27%	373.03%	-2.17

Tabla 10. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el embalse de María Cristina.

Con los resultados obtenidos en las entradas de la Rambla de la Viuda al embalse de María Cristina se puede analizar la problemática que reside en él:

- En ambas series los resultados presentan la problemática de que sus valores son anómalos. Se puede observar que su bias relativo se dispara hasta más del 350% en ambas series, y que el coeficiente de Nash aporta un valor negativo (-1.63 y -2.17, respectivamente). Esto se debe a que en su recorrido a través del Maestrazgo Occidental debido a la permeabilidad de este, y que el nivel freático se encuentra por debajo del cauce, su recurso hídrico superficial se infiltra en el terreno, siendo prácticamente todos los aportes de la Rambla al embalse de María Cristina provenientes del río Lucena que no filtra el recurso hídrico superficial sobre su masa de agua subterránea (Lucena-Alcora).

4.2.6. Conclusiones del análisis del modelo original.

Con los cinco contrastes modelo-observado en los puntos de estudio del sistema Mijares-Plana de Castellón, las conclusiones que se pueden obtener del funcionamiento de la versión actual del modelo en el sistema son:

1. A diferencia del sistema del Cénia, debido a la mayor relevancia de aportaciones del río Mijares, el PATRICAL ajusta mejor en el sistema, obteniendo unos resultados con menor incertidumbre y un ajuste bueno en general en todo el sistema, a excepción del contraste que se produce en el río Lucena, que sí ocurre como en el sistema del Cénia por la razón citada previamente.
2. La forma de las series de caudales simulados generalmente es similar a la que presentan las aportaciones observadas, exceptuando María Cristina -esperable por su problemática mencionada previamente-, y las entradas al embalse de Arenós.
3. En toda la cabecera del Mijares hasta el embalse de Sichar se produce una mayor aportación observada que la simulada, aunque esta variación relativamente es de un 15%, por lo que puede aceptarse ya que en el embalse de Sichar las aportaciones ajustan muy bien, y por tanto modificar el sistema empeoraría los resultados.
4. No obstante, debido a la gran magnitud de la componente subterránea en el río Mijares, que supone más de dos terceras partes del aporte total del río, aplicar los cambios en el modelo para que simule mejor los aportes subterráneos al cauce del río Mijares es vital para conseguir resultados con menor incertidumbre.

4.2.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.

Para la evaluación de los caudales simulados respecto a los observados con la segunda versión del modelo PATRICAL en el sistema Mijares-Plana de Castellón se descartarán algunos de los puntos analizados previamente por diversas razones:

- Se descartará el análisis del nuevo modelo en las entradas al embalse de Arenós, puesto que se dispone de la serie completa en régimen restituido en el mismo embalse de Arenós y la serie contiene pocos datos observados.
- Debido a la magnitud significativamente inferior entre las aportaciones del río Lucena y el río Mijares no se estudiará el análisis del modelo en este punto.
- La Rambla de la Viuda no será objeto de análisis en la segunda versión pues presenta unos datos anómalos debidos a las fuertes filtraciones de caudal que se producen.

Por tanto los puntos que se analizarán con la segunda versión del modelo PATRICAL son:

1. Río Mijares en el embalse de Arenós (Serie restituida al régimen Natural).
2. Río Mijares en el embalse de Sichar (Serie restituida al régimen Natural).

4.2.7.1. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Sicchar (Serie restituida).

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en la serie restituida del río Mijares en el embalse de Arenós se muestra en la figura 21:

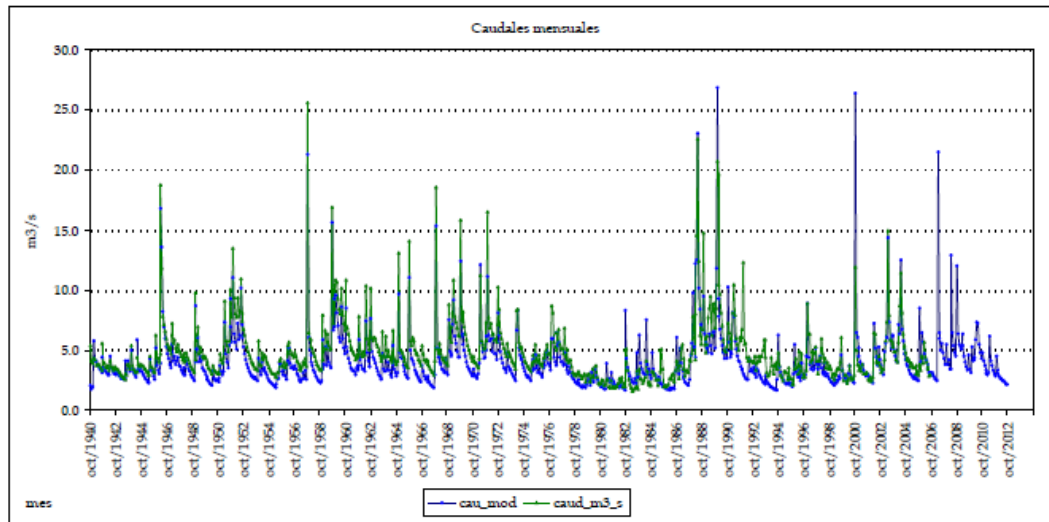


Figura 21. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida en el embalse de Arenós.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en serie restituida del río Mijares en el embalse de Arenós se muestran en la tabla 11:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Arenós	Año 40	151.87	107.98	19.20	127.18	85%	-16.26%	0.67
	Año 80	138.34	105.50	21.35	126.86	83%	-8.30%	0.58

Tabla 11. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizada en el embalse de Arenós.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- El ajuste en aportaciones simuladas-observadas da como resultado un ajuste bueno en la serie histórica completa y un ajuste muy bueno en la serie desde el año 1980.
- Los coeficientes de Nash dan resultados positivos; un ajuste bueno en la serie histórica completa y muy bueno en la serie histórica desde el 1980.
- El comportamiento del modelo en el punto por tanto es bueno, y el modelo representa de manera adecuada el comportamiento real del tramo del sistema estudiado.

4.2.7.2. Punto de contraste del río Mijares en el embalse de Sicchar (Serie restituida).

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en la serie restituida del río Mijares en el embalse de Sicchar se muestra en la figura x:

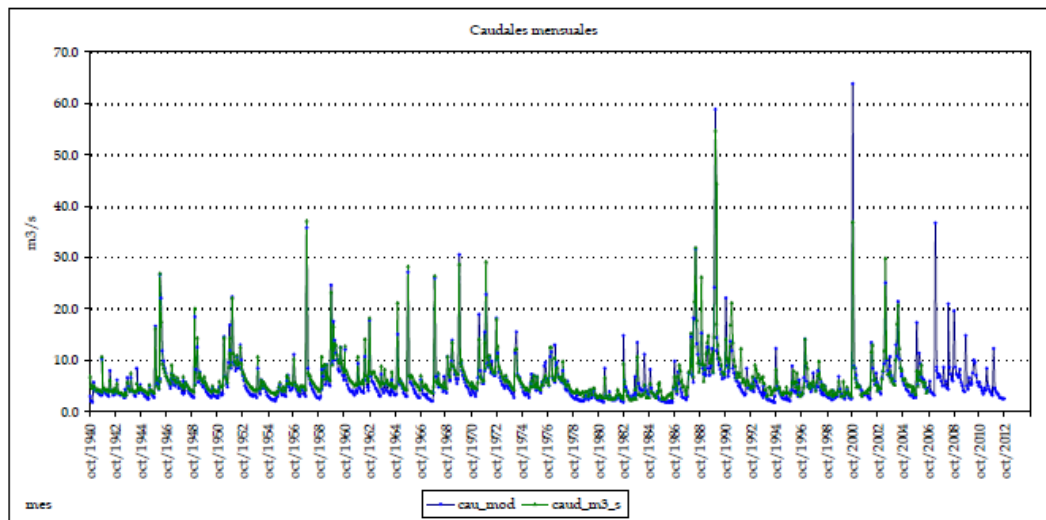


Figura 22. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida en Sichar.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en serie restituida del río Mijares en el embalse de Sichar se muestran en la tabla 12:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Sichar	Año 40	205.92	140.42	42.31	182.74	77%	-11.26%	0.77
	Año 80	204.22	138.04	46.68	184.72	75%	-9.55%	0.68

Tabla 12. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el embalse Sichar.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- El resultado del contraste en cuanto a las aportaciones resulta muy bueno en ambas series históricas, puesto que presentan valores muy cercanos al 10% de dispersión.
- El coeficiente de Nash en la serie histórica desde el año 1940 es 0.77 que según Moriasi es un ajuste muy bueno. Respecto a la serie desde el 1980 el valor es de 0.68, lo que representa un ajuste bueno.
- El comportamiento del modelo en el punto por tanto es muy bueno en general, y el modelo representa de manera adecuada el comportamiento real del tramo del sistema estudiado.

4.2.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.

Una vez se disponen de los datos de aportaciones simuladas y de estadísticos muestrales de ajuste para el modelo original y el modelo actualizado las conclusiones que se extraen son las siguientes:

1. Como se aprecia en la tabla 13 el resultado de las aportaciones ha empeorado sensiblemente, pasando el modelo de dimensionar más aportes de los que en realidad se han observado al caso contrario, donde estos valores ahora son inferiores a los observados. No obstante los resultados obtenidos siguen representando un ajuste muy bueno en general al sistema en cuanto a las aportaciones hídricas.
2. En cambio, aunque han empeorado las aportaciones, la similitud entre las series históricas mensuales de las aportaciones simuladas y observadas ha aumentado considerablemente, hasta el punto de que el coeficiente de Nash en todos los puntos y series históricas analizadas aporta resultados que se consideran un ajuste bueno.
3. Por tanto, se puede concluir que la nueva versión del modelo presenta una mayor fiabilidad que la versión actual en el sistema Mijares-Plana de Castellón y representa de manera más veraz el comportamiento del sistema de explotación.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Arenós	Año 40	151.87	133.80	-11.90%	0.68	127.18	-16.26%	0.67
	Año 80	138.34	133.16	-3.75%	0.51	126.86	-8.30%	0.58
Sichar	Año 40	205.92	213.78	3.82%	0.51	182.74	-11.26%	0.77
	Año 80	204.22	217.76	6.63%	0.36	184.72	-9.55%	0.68

Tabla 13. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Mijares-Plana de Castellón.

4.3. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN PALANCIA-LOS VALLES.

AUTOR: FRANCISCO JAVIER MUÑOZ DEL PRADO

4.3.1. Descripción del Sistema.

El sistema de explotación Palancia-Los Valles comprende todas las subcuencas litorales comprendidas entre el límite provincial de Castellón y Valencia hasta la Marjal dels Moros, un humedal natural que se encuentra entre los términos municipales de Puzol y Sagunto, abarcando la totalidad de la cuenca del río Palancia –Figura 23-. La superficie total del sistema es de 1,085 km².



Figura 23. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón.

Su masa única masa superficial relevante es el río Palancia, de una longitud total de 85 km y una superficie de cuenca de 911 km². Tiene tres tramos con diferente comportamiento:

- Tramo Alto: El río Palancia nace en la sierra del Toro y recibe de diversos manantiales un aporte subterráneo –Imagen 11-. Cuando el río Palancia se encuentra sobre la masa de agua subterránea de Jérica se produce una infiltración, llegando a ser necesaria su canalización en el tramo entre los municipios de Teresa y Jérica para poder abastecer agua al embalse del Regajo.



Imagen 11. Nacimiento del Río Palancia en Sierra del Toro.

- Tramo Medio: Tras su paso por el embalse del Regajo el río Palancia atraviesa el Medio Palancia donde hasta llegar al embalse de Algar recibe un aporte desde el acuífero.
- Tramo Bajo: En el embalse de Algar y tras su salida, el río Palancia comienza a filtrar una gran cantidad de agua debido a la alta permeabilidad del acuífero y del vaso que forma el embalse de Algar. Debido a estos dos motivos el río Palancia no

porta recurso hídrico superficial en su tramo bajo a excepción de episodios de avenidas relevantes. De hecho, en el delta del Palancia, que se ha formado en la desembocadura al mar se encuentra incluso con barracones y casetas habitadas, lo que no sólo reduce la capacidad de desagüe de la desembocadura, sino que es un peligro para las personas que residen en ellas ante el riesgo de una avenida importante.



Imagen 12. Delta del Palancia.

En el sistema del Palancia existen dos infraestructuras de gestión de recursos hídricos que son el embalse del Regajo y el embalse de Algar:

- Embalse del Regajo: Su uso principal es la prevención de avenidas. Su tipología de presa es de gravedad, y presenta una capacidad máxima de 6 hm³ -Imagen 13.a-.
- Embalse de Algar: El uso principal del embalse de Algar es la prevención de avenidas -Imagen 13.b-. Su tipología de presa es mixta, de gravedad y materiales sueltos, y presenta una capacidad máxima de 6 hm³.



Imagen 13.a) Embalse del Regajo. y b) Embalse de Algar.

En lo referente a las masas de agua subterránea -Figura x- se encuentran, ya sea totalitaria del sistema de explotación o compartida con otros sistemas, las masas de agua delimitadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar de Sierra del Toro, Jérica, una pequeña sección de Liria-Casinos, Medio Palancia, Onda-Espadán y Plana de Sagunto.

4.3.2. Relaciones Río-Acuífero.

4.3.2.1. Manantiales.

Según la información del Instituto Geológico y Minero de España (IGME-DGA, 2010) en el sistema del Palancia se encuentran siete manantiales en total –Figura x-, distribuidos de la siguiente forma:

- Fuente de San Miguel en el tramo alto del río Palancia
- En el tramo medio del Palancia existen los manantiales de La Esperanza, Fuente del Berro-Altura, La Caprichosa, Fuente de los 50 caños-Segorbe y la Fuente de Soneja
- La Fuente de Quart, en el municipio de Quart de los Valles.



Figura 24. Manantiales del sistema Palancia-Los Valles.

También es relevante el Marjal del Moro, un humedal natural que se encuentra entre los términos municipales de Puzol y Sagunto. Es una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) desde 1996. En ella coexisten una gran variedad de aves acuáticas, ya sea migrantes, autóctonas de la zona o que acuden a ella en búsqueda de comida -Imagen 14-.



Imagen 14. Marjal del Moro.

4.3.2.2. Relaciones Río-Acuífero.

Según la información obtenida del IGME (IGME-DGA, 2010), se puede representar el mapa con la relación río-acuífero del sistema Palancia-Los Valles -Figura 25-, siendo los ríos con cauce ganador aquellos que en algún punto reciben un aporte de recurso hídrico por parte de la componente superficial, los ríos de carácter perdedor aquellos que ocurre en el caso contrario, se infiltra el recurso a la componente subterránea, y de carácter variable aquellos tramos dónde en función del clima y la época del año se comportan de una manera u otra :

Con la representación de esta información se puede observar diversos aspectos en el sistema:

- En todo el sistema del Mijares a excepción de la Rambla de la Viuda, todos los cauces superficiales reciben del acuífero un aporte hídrico. Estos aportes en la mayoría de los casos se deben a la existencia de manantiales, que conectan con los cauces superficiales.
- El carácter perdedor del cauce de la Rambla de la Viuda como ha sido comentado previamente es debido a que el nivel freático se sitúa por debajo del cauce de la misma.
- Cuando todas las masas de agua superficiales llegan a la Plana de Castellón se produce una infiltración y recarga del acuífero de la plana.

4.3.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Si se intersecta la información de la existencia de lagos, humedales, manantiales y los comportamientos río-acuífero con las masas de agua subterránea existentes en el sistema del Mijares, se puede deducir cuales de estas masas descargan a la superficie y cuales por el contrario no -Figura 25-:

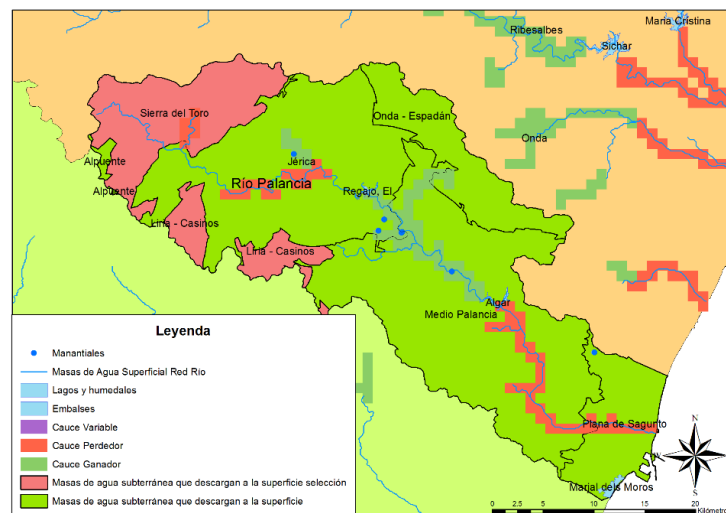


Figura 25. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Palancia-Los Valles.

Para saber con una mayor exactitud el comportamiento de estas masas se desagregarán en sectores que las conformen, pues algunas de ellas tienen una gran extensión y su comportamiento puede no ser representativo de la misma -Figura 26-:

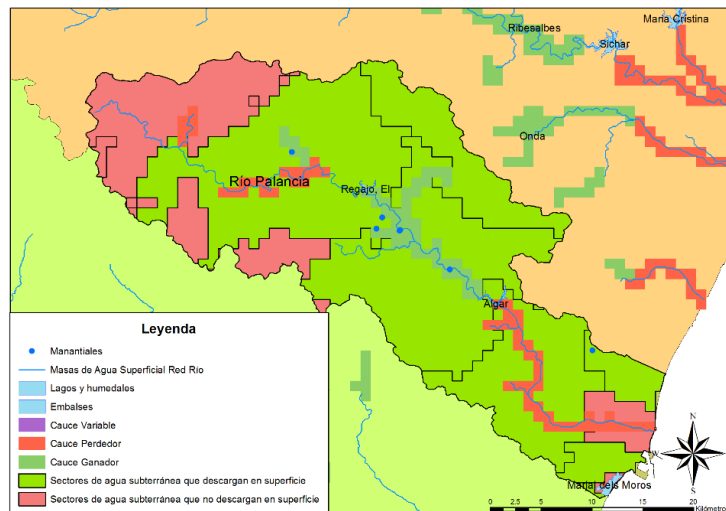


Figura 26. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Palancia-Los Valles.

Con esta información se observa que a excepción de la Sierra del Toro y Liria-Casinos el resto de masas de agua subterránea vierten en algún punto a la superficie recurso hídrico. No obstante, esta información es errónea, puesto que el nacimiento del río Palancia se forma a través de un manantial que surge a la superficie; por tanto la Sierra del Toro vierte a la superficie también.

Acerca de los sectores de masas de agua subterránea se aprecia que únicamente en la Plana de Sagunto en la desembocadura final del Mijares no tiene un punto de descarga a la superficie, puesto que al norte tiene la Font de Quart y en su zona sur vierte a la Marjal del Moro.

4.3.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el sistema del Palancia existen un total de 2 estaciones de aforos de la Confederación Hidrográfica del Júcar donde se observan los caudales superficiales reales que pasan por ellos -Figura x-, además de los embalses del Regajo y Algar.

Acerca de los puntos modelizados de masas de agua superficial que el PATRICAL escoge también están representados en la figura 27:



Figura 27. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Palancia-Los Valles.

4.3.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.

Con los puntos de masas de agua modelizados y las estaciones de aforos de la CHJ, se efectuará un contraste de los valores de caudales superficiales en dichos puntos con los observados en las estaciones y mediante el uso de los estadísticos muestrales PBIAS y Nash se observará la fiabilidad del modelo.

A la hora de escoger los puntos de contraste en el sistema del Mijares se deberán de tener en cuenta varios criterios:

- Se descartará el análisis en la Fuente del Baño por estar por debajo del embalse del Regajo, por tanto el caudal que medirá no se encontrará restituido a su serie natural.
- El aforo de Jérica al estar tan próximo al embalse del Regajo no se estudiará ya que aportará prácticamente los mismos resultados que las entradas al embalse.
- El embalse de Algar no se estudiará debido a sus problemas con la fuerte infiltración de su vaso, puesto que los resultados que aportaría no serían válidos para la comprobación del modelo

Por tanto, el punto que se analizará para contrastar el modelo son las entradas del río Palancia al embalse del Regajo.

4.3.5. Análisis de los resultados del modelo original.

4.3.5.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de El Regajo.

El contraste de caudales del río Palancia en las entradas al embalse del Regajo es el mostrado en la figura 28:

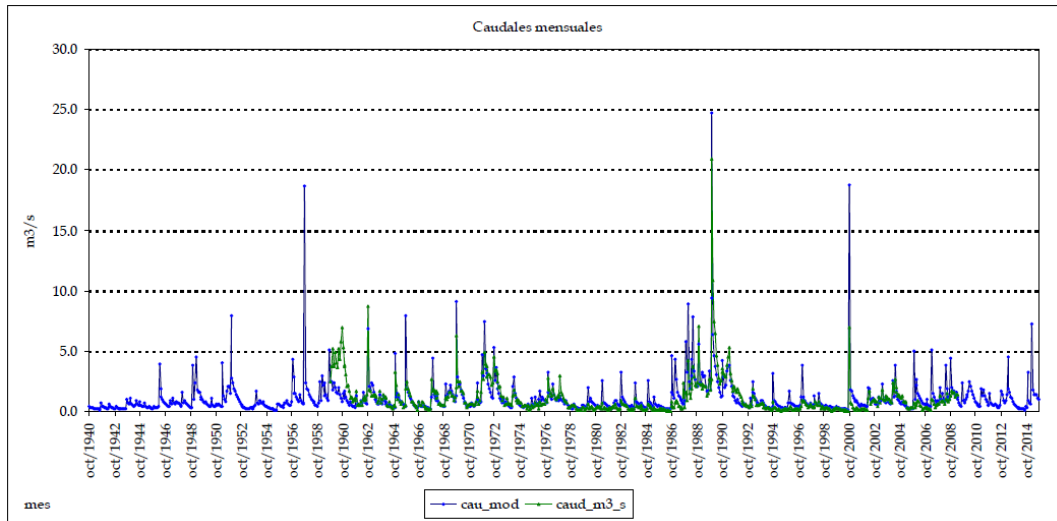


Figura 28. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas embalse del Regajo.

En la tabla 14 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Palancia (Regajo)	Año 40	64.12	50.29	22.70	73.00	69%	13.85%	0.20
	Año 80	34.71	27.70	6.34	34.04	81%	35.59%	0.52

Tabla 14. Datos de caudales y estadísticos del modelo original río Palancia entradas al embalse del Regajo.

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados del río Palancia en el punto estudiado el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- En la serie desde el año 1940 se aprecia como el ajuste es bueno a lo largo de la serie histórica exceptuando el tramo entre el año 1959 y 1961, donde se aprecia que el caudal observado es sensiblemente mayor al modelizado, y en el año 1989, donde el pico máximo de la serie histórica modelizada es significativamente inferior al observado. El valor de bias relativo en el punto de contraste es de un 3.20%, que según Moriasi es un ajuste muy bueno al ser menor que un $\pm 10\%$. No obstante el valor del coeficiente de Nash es de 0.45, que también según Moriasi quiere decir que el ajuste es insatisfactorio aunque muy próximo a ser satisfactorio.
- Para la serie desde el año 1980 el ajuste es algo peor, puesto que el pico que se ha comentado previamente produce una mayor dispersión al ser un periodo más

corto. El valor del bias relativo para esta serie es de un 32.62% lo que significa que el ajuste es insatisfactorio. En el caso del coeficiente de Nash el resultado es ínfimamente mayor que en la serie anterior (0.45 frente a 0.46), que aunque sigue siendo un ajuste insatisfactorio el valor se encuentra muy próximo a ser satisfactorio.

- No se debería de modificar los valores en las aportaciones en el modelo puesto que el ajuste desde el año 1940 es muy bueno, y aunque en la serie desde el año 1980 el ajuste sea insatisfactorio, se encuentra próximo a ser satisfactorio -que es una dispersión de $\pm 25\%$ -.

4.3.6. Conclusiones del análisis del modelo original.

Con el contraste modelo-observado en los puntos de estudio del sistema Palancia-Los Valles, las conclusiones que se pueden obtener del funcionamiento de la versión actual del modelo en el sistema son:

1. Para tratarse de un sistema cuya cuenca no es demasiado grande, el modelo PATRICAL ajusta bien en el modelo, puesto que los resultados de los estadísticos (sobretudo el bias relativo en la serie desde 1940) son muy próximos a satisfactorios.
2. El modelo genera una mayor aportación que la realmente observada; esto ocasiona que la forma de las series históricas a partir del año 1985 difiera bastante.
3. Como también ocurre en el sistema del Mijares, la aportación de la componente subterránea del río es mucho más significativa que la superficial, por tanto mediante la implementación de la segunda versión del modelo se espera es que reproduzca mejor la relación entre el río Palancia y las masas de agua subterránea que existen bajo suya y el contraste de resultados aporte una menor incertidumbre en los mismos.

4.3.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.

Mediante la nueva versión del modelo PATRICAL en el que varía la información acerca de la geomorfología del terreno, empleando el mapa litoestratigráfico en vez del mapa geológico, y con ello ajustándose con mayor detalle a la realidad se estudiará el comportamiento del río Palancia en el embalse del Regajo bajo este nuevo modelo.

4.3.7.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de El Regajo.

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en el embalse del Regajo se muestra en la figura 29:

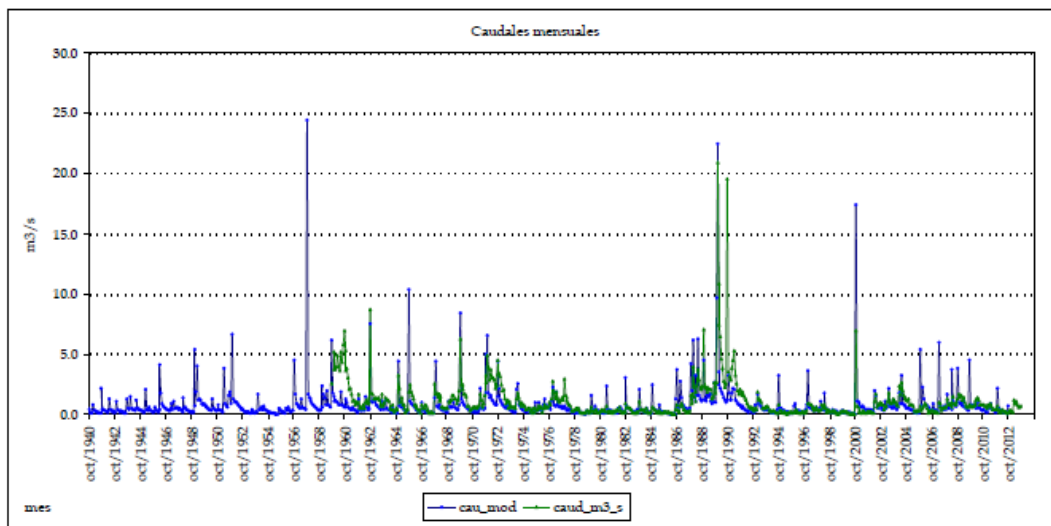


Figura 29. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en las entradas al embalse del Regajo.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en las entradas del río Palancia al embalse del Regajo se muestran en la tabla 15:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Regajo	Año 40	33.64	14.13	11.80	25.93	54%	-22.91%	0.25
	Año 80	28.82	14.11	12.68	26.79	53%	-7.06%	0.32

Tabla 15. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Palancia entradas al embalse del Regajo.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- Los valores de las aportaciones observadas son superiores a las simuladas, en un 23% en la serie histórica desde el año 1940 y de un 7% desde el año 1980. Esto implica un ajuste satisfactorio en la primera serie, y un ajuste muy bueno en la segunda
- Los coeficientes de forma presentan unos valores reducidos, de 0.25 y 0.32 respectivamente. Ambos según el criterio de Moriasi son representativos de un ajuste insatisfactorio.
- Teniendo en cuenta lo bien que ajustan las aportaciones en el río Palancia desde el año 1980, y que el río no presenta un gran volumen de caudal en él, se puede considerar que el modelo funciona correctamente en el río Palancia.

4.3.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.

Una vez se disponen de los datos de aportaciones simuladas y de estadísticos muestrales de ajuste para el modelo original y el modelo actualizado las conclusiones que se extraen son las siguientes:

1. Como se aprecia en la tabla 16, la segunda versión del modelo PATRICAL ha pasado de producir una mayor cantidad de caudales que los observados a producir menos aportaciones que los mismos.
2. Aunque la serie histórica desde el año 1940 pasa de ajustar muy bien a satisfactoriamente, la serie desde el año 1980 pasa de un ajuste insatisfactorio a uno muy bueno; por tanto la segunda versión del modelo da resultados positivos para las dos series históricas mientras que el actual sólo ajusta bien en una.
3. No obstante, el coeficiente de Nash se reduce considerablemente -entre un 0.25 y un 0.3- en ambas series históricas, por lo que las series de caudales modelizadas presentan una menor similitud a las observadas.
4. Se puede concluir que la segunda versión del modelo PATRICAL mejora levemente los resultados obtenidos por la versión actual del modelo, representando con menor incertidumbre las aportaciones del sistema aunque representando peor la forma de las mismas.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Regajo	Año 40	33.64	35.42	3.20%	0.45	25.93	-22.91%	0.25
	Año 80	28.82	38.72	32.62%	0.46	26.79	-7.06%	0.32

Tabla 16. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Palancia-Los Valles.

4.4. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN TÚRIA.

AUTOR: FRANCISCO JAVIER MUÑOZ DEL PRADO

4.4.1. Descripción del Sistema.

El sistema de explotación del Túria abarca la cuenca del propio río Túria en su totalidad, y todas las subcuencas litorales entre el norte del municipio de Puzol hasta la Gola de El Saler, donde comienza el sistema del Júcar -Figura 30-. La extensión de este sistema es de aproximadamente 7,240 km², la segunda más grande después de la del sistema del Júcar (en torno a 22.250 km²).



Figura 30. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Túria.

En esta demarcación aparece como componente superficial más importante el río Túria, de 280 km de longitud. El río Túria nace en Teruel, teniendo su cauce distinto comportamiento según su tramo de cauce:

- Tramo Alto: El río Túria nace en la provincia de Guadalaviar, en la Muela de San Juan. De hecho el río es denominado como río Guadalaviar desde este punto hasta que el río Alfambra confluye con él -Imagen 15-. Su cauce en este tramo es largo y estrecho, siendo todos sus afluentes a excepción del río Alfambra de corto recorrido. Durante su cabecera tiene como afluente la rambla de Monterde, y recibe el aporte subterráneo de Gea de Albarracín a través de manantiales, fluyendo después el cauce por encima de estratos impermeables, recogiendo por tanto aporte hídrico y presentando en este tramo su zona de mayor caudal. Antes de llegar a la confluencia con el río Alfambra -Figura x- se encuentra regulado por el embalse del Arquillo de San Blas. Pasada la confluencia, el ya denominado como río Túria recibe como afluentes los ríos Camarena, Riodeva, Ebrón, Vallanca, Arcos y aporte de varios. Del río Ebrón recibe la descarga de agua proveniente de los Montes Universales, y mediante el río Riodeva de la sierra de Javalambre. Por último en su paso por Zagra el río entra al embalse de Benagéber.



Imagen 15. Confluencia del río Guadalaviar (Izquierda) con el río Alfambra (Derecha).

- Tramo Medio: Dentro del embalse de Benagéber el río Túria recibe el aporte de la rambla de San Marco, fluyendo sobre las masas subterráneas de las Serranías donde el río infiltra o drena la masa según el período en que se encuentre, y llega al embalse de Loriguilla. En este embalse recibe las aportaciones del acuífero de Alpuente a través del río Tuejar. Por último en el tramo medio del río, pasado el embalse de Loriguilla el río Túria recibe el aporte de las ramblas Castellana y de la Escarihuela.
- Tramo Bajo: El río Túria confluye con el río Sot, y tras un recorrido en sobre los acuíferos de Liria-Casinos y Buñol-Cheste dónde el río recibe aporte de los acuíferos, exceptuando unas zonas por Bugarra, Benaguacil y Manises donde en función de las condiciones del momento el río drena al acuífero o el río infiltra al mismo. En este tramo el río aporta recurso hídrico al regadío por medio de las siete acequias tradicionales que son administradas por el tribunal de las Aguas (Las acequias de Benaguacil, Lorca, Moncada, Quart, Tormos, Mislata y Mestalla). Por último, entra en la ciudad de Valencia a través del Nuevo Cauce del río Túria y desemboca justo al final del puerto de Valencia -Imagen 16-.



Imagen 16. Río Túria en su desembocadura en el Mar Mediterráneo. Fuente: Foto de autor.

El afluente principal del río Túria es el río Alfambra. Presenta una longitud aproximada de cauce de 102 km, situándose su nacimiento en la sierra de Gudar -Figura 17-, donde también nace el río Mijares. Recibe recurso hídrico a través de los acuíferos de Mosqueruela, el norte de Javalambre Occidental y Hoya de Alfambra. Su confluencia al río Guadalaviar se produce a la altura de Teruel.



Imagen 17. Río Alfambra en la Sierra de Gudar.

Las otras dos componentes superficiales relevantes del sistema son el barranco del Carraixet y la rambla del Poyo:

- Barranco del Carraixet: De 50 km de longitud aproximada, el barranco del Carraixet nace en la Sierra Calderona recibiendo aporte hídrico del acuífero del Medio Palancia, y tras su recorrido acaba desembocando en el mar Mediterráneo.
- Rambla del Poyo: se trata de un cauce de 40 km aproximados de longitud que tiene la peculiaridad que es un cauce endorreico; puesto que toda su aportación hídrica no desemboca al mar, sino a l'Albufera de Valencia.

Acerca de las infraestructuras de gestión existentes en el sistema del Túria se encuentran como más relevantes los embalses del Arquillo de San Blas, Benagéber y Loriguilla, localizándose los tres en el río Túria.

- Embalse del Arquillo de San Blas: Se emplea para abastecimiento, regadío, piscifactoría, laminación de avenidas, usos recreativos y producción de energía. Su tipología de presa es de gravedad, y presenta una capacidad máxima de 21 hm³ – Imagen 18.a-
- Embalse de Benagéber: Los usos principales del embalse de Sihar son abastecimiento, regadío, usos recreativos y producción de energía eléctrica – Imagen 18.b-. Presenta una presa de gravedad y tiene una capacidad máxima de embalse de 221.34 hm³.



Imagen 18. a) Embalse del Arquillo de san Blas. y b) Embalse de Benagéber.

- Embalse de Loriguilla: Las funciones principales del embalse son el abastecimiento, regadío, usos recreativos y producción de energía eléctrica. Su tipología de presa es de gravedad y tiene una capacidad máxima de 73.21hm³,

aunque por problemas de la estabilidad de la presa no se permite que el embalse no supere los 22.4 hm³ –Imagen 19-.

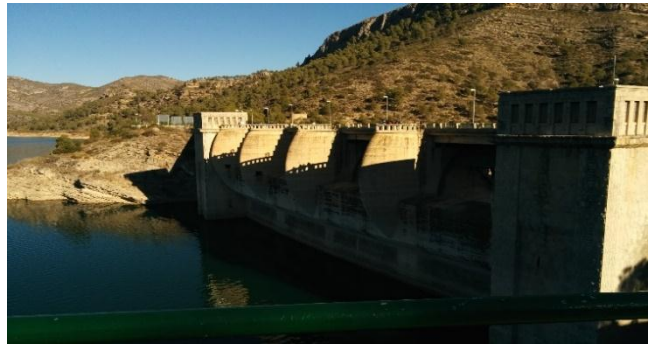


Imagen 19. Embalse de Loriguilla.

Acerca de las masas de aguas subterráneas existentes, en la demarcación del Túría se encuentran un gran número de ellas -Figuras 32 y 33-: Mosqueruela, Javalambre Oriental, Hoya de Alfambra, Gea de Albarracín, Montes universales, Arquillo, Hoya de Teruel, Javalambre Occidental, Alpuente, Mira, Líría – Casinos, Las Serranías, Buñol – Ceste, Requena – Utiel, Cabrillas – Malacarra, Planas de Valencia Norte y Sagunto, y los acuíferos de interés local 1, 4, 2, 5, 7, 8, 9, 11 y 12.

4.4.2. Relaciones Río-Acuífero.

4.4.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.

Según la información del Instituto Geológico y Minero de España (IGME-DGA, 2010) en el sistema del Túría se encuentran gran número de manantiales, 36 en total –Figura 31-, distribuidos de la siguiente forma:

- En el nacimiento del río Túría se encuentran las Fuentes, Lavadero, Vega, Escaldador, Fuente de San Tormón y Cañizares.
- En el nacimiento del río Alfambra los Caños.
- En el río Túría en su tramo alto tras la confluencia con el río Alfambra hasta su llegada al embalse de Benagéber están los manantiales de Villel, La Poza, Ebrón en los Santos, Fuente de la Teja, La Fuente de la Teja, la Fuente Vieja, fuente de Juan Manzano, Fuente la Olmeda, La Sima, Los Baños, Fuente Nueva y Fuente del Berro.
- Río Tuejar y acequia mayor, fuente del Remedio y los Baños de Verche entre Benagéber y Loriguilla.
- En el tramo bajo del río Túría La Canaleja, Hermita, Fuente del Mojón, de los Olivos, Fuente de la Alhondiga, de Roseblanc y San Vicent.



Figura 31. Manantiales del sistema Túría

En el sistema del Túría también existen dos humedales: las lagunas de Talayuelas y la Marjal de Rafalell y Vistabella:

- Lagunas de Talayuelas: Estas lagunas fueron declaradas microrreserva en el año 2003, y tienen una extensión total aproximada de 30 hectáreas -Imagen 20.a-.
- Marjal de Rafalell y Vistabella: Esta marjal se encuentra al norte del río Túría, entre Alboraya y Sagunto -Imagen 20.b-. Tiene una extensión aproximada de 103 hectáreas, y esta zona húmeda se encuentra protegida desde el año 2004 ante las presiones de destruirla para urbanizar en su terreno.



Imagen 20. a) Lagunas de Talayuelas. y b) Marjal de Rafalell y Vistabella.

4.4.2.2. Relaciones Río-Acuífero.

4.4.2.2.1. Relaciones Río-Acuífero en la cabecera del Túría.

Según la información obtenida del IGME (IGME-DGA, 2010), se puede representar el mapa con la relación río-acuífero de la cabecera del sistema Túría –Figura 32-, siendo los ríos con cauce ganador aquellos que en algún punto reciben un aporte de recurso hídrico por parte de la componente superficial, los ríos de carácter perdedor aquellos que ocurre en el caso contrario, se infiltra el recurso a la componente subterránea, y de carácter variable aquellos tramos dónde en función del clima y la época del año se comportan de una manera u otra:

Con la representación de esta información se puede observar que en toda la cabecera del Túrria el río recibe componente hídrico por parte de las masas de agua subterránea que se encuentran por debajo del mismo.

4.4.2.2 Relaciones Río-Acuífero en el tramo medio y bajo del sistema Túrria.

Siguiendo el procedimiento y con la misma información que en el punto anterior se obtiene la relación entre río-acuífero del tramo medio y bajo del sistema Túrria -Figura 33-. La información que se observa es la siguiente:

- Existen cuatro tramos entre el embalse de Loriguilla y Manises donde en función de la climatología la relación entre el cauce y la masa de agua subterránea es ganadora o perdedora.
- Aguas abajo del embalse de Loriguilla y en las masas subterráneas de Buñol-Cheste y la Plana de Valencia Nord se produce un aporte desde los cauces del río Túrria y la Rambla del Poyo a las mismas.

4.4.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Si se intersecta la información de la existencia de lagos, humedales, manantiales y los comportamientos río-acuífero con las masas de agua subterránea existentes en el sistema del Mijares, se puede deducir cuales de estas masas descargan a la superficie y cuales por el contrario no –Figura 32-:

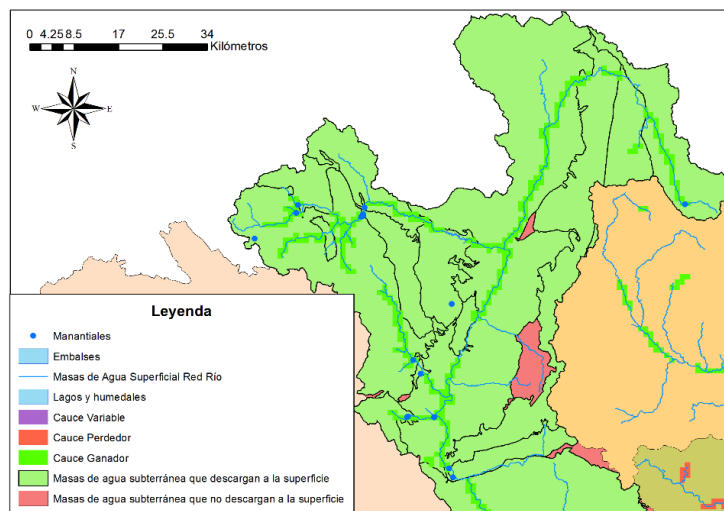


Figura 32. Comportamiento de las masas de agua subterránea en la cabecera del sistema Túrria.

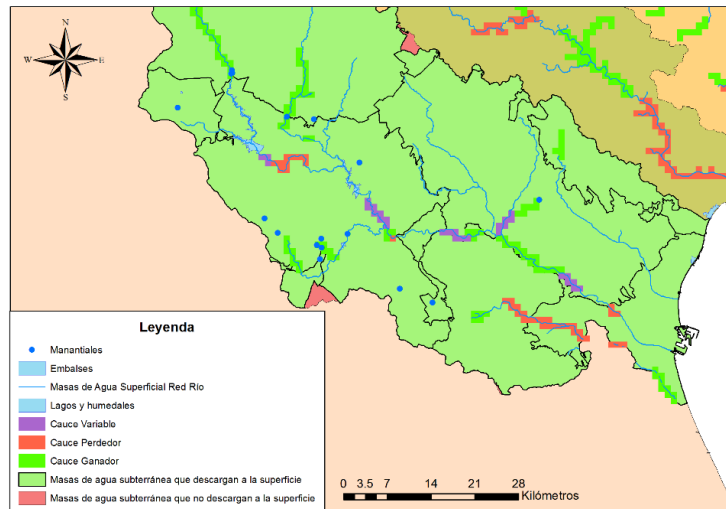


Figura 33. Comportamiento de las masas de agua subterránea en los tramos medio y bajo del sistema Túría.

Para saber con una mayor exactitud el comportamiento de estas masas se desagregarán en sectores que las conformen, pues algunas de ellas tienen una gran extensión y su comportamiento puede no ser representativo de la misma –Figuras 34 y 35–:

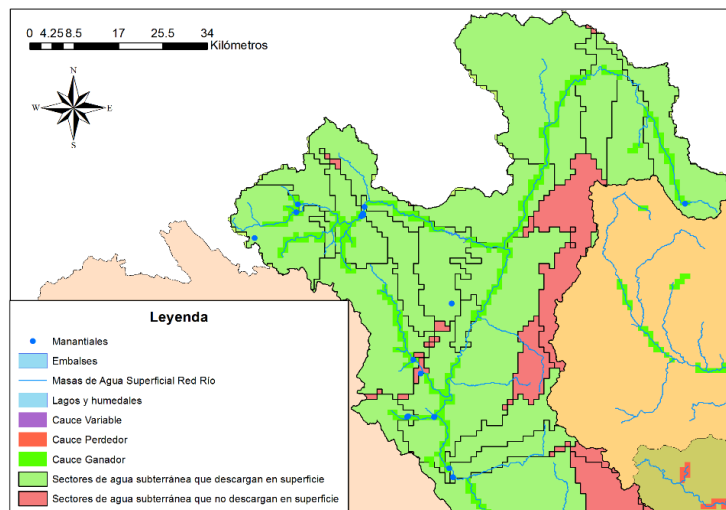


Figura 34. Comportamiento de los sectores de agua subterránea en la cabecera del sistema Túría.

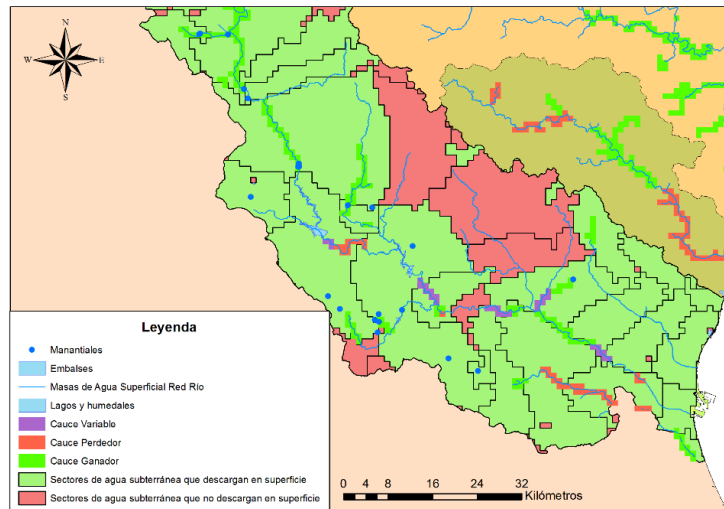


Figura 35. Comportamiento de los sectores de agua subterránea en los tramos medio y bajo del sistema Túría.

- Con esta información se aprecia que a excepción de los acuíferos impermeables 03, 06, 08, 09 y Sierra del Toro el resto de masas de agua subterránea vierten a la superficie en algún punto.
- En las masas subterráneas del Javalambre Occidental, Liria-Casinos y Alpuente hay una gran superficie de ellas que no vierten a la superficie.

4.4.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el sistema Túría existen un total de 32 estaciones de aforos de la Confederación Hidrográfica del Júcar donde se observan los caudales superficiales reales que pasan por ellos -Figura 36-. Estas estaciones se reparten principalmente por el recorrido del río Túría y sus afluentes principales que son los ríos Alfambra, Ebrón, Tuéjar y la rambla de Escarihuela. También se encuentra una estación en el tramo medio del barranco del Carraixet, y una para cada una de las siete acequias tradicionales de la provincia de Valencia.

Acerca de los puntos modelizados de masas de agua superficial que el PATRICAL escoge también están representados en la figura 36:

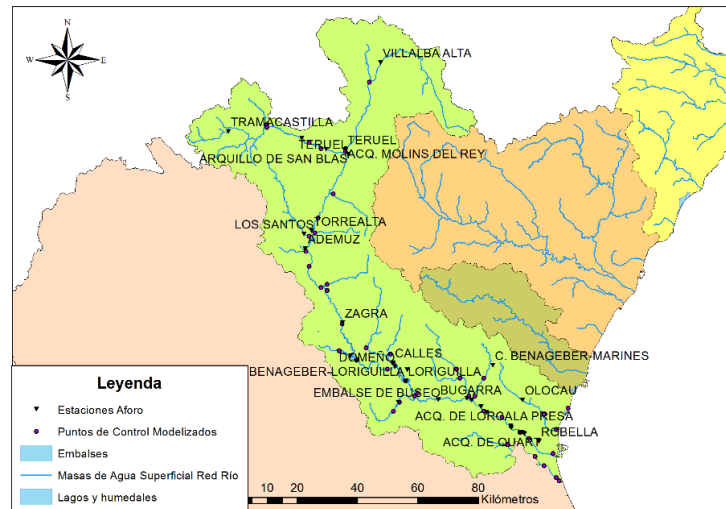


Figura 36. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema Túrria

4.4.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.

Con los puntos de masas de agua modelizados y las estaciones de aforos de la CHJ, se efectuará un contraste de los valores de caudales superficiales en los puntos modelizados del sistema de explotación Túrria con los observados en las estaciones y mediante el uso de los estadísticos muestrales PBIAS y Nash se observará la fiabilidad del modelo.

A la hora de escoger los puntos de contraste en el sistema del Túrria se deberán de tener en cuenta varios criterios:

- Se descartarán los aforos de las siete acequias tradicionales y a acequia de Molins del Rey, puesto que no observan el caudal de ningún cauce natural, por tanto no es objeto de estudio de este trabajo.
- El aforo de Tramacastilla no se analizará puesto que la masa de agua modelizada en esa zona constituye toda la unión del río Guadalaviar y la rambla de Monterde, por tanto el ajuste de caudales sería entre muestras distintas.
- Por demasiada proximidad a otros puntos de contraste, porque no observan el caudal de una masa de agua superficial relevante del sistema o debido a que existe una distancia considerable entre los aforos y puntos de modelo más cercanos se descartarán Teruel (Guadalaviar), Ademuz, Domeño, Calles, Bugarra y Olocau.
- El aforo del río Túrria en la estación de Manises se considerará pese a estar bajo de los dos embalses más importantes del sistema debido a que se encuentra restituido al régimen natural. En cambio el río Túrria en el aforo de Zagra no es objeto de estudio ya que el aporte del río Túrria que circula por él se encuentra regulado aguas arriba por el embalse del Arquillo de San Blas
- El aforo de Robella era una estación de aforo de la Confederación Hidrográfica del Júcar situado en el cauce viejo del río Túrria. Es debido a esto que desde que el nuevo cauce del río Túrria comenzó a funcionar, esta estación dejó de funcionar, siendo irrelevante su análisis.

Por tanto, los puntos que se analizarán para contrastar el modelo son:

1. Río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas (Serie restituida al régimen natural).
2. Río Alfambra en su paso por la estación de aforos de Teruel.
3. Río Ebrón en el aforo de Los Santos.
4. Río Túrria en el embalse de Benagéber (Serie restituida al régimen natural).
5. Río Túrria en el embalse de Loriguilla (Serie restituida al régimen natural).
6. Río Sot entradas al embalse de Buseo.
7. Río Túrria en la estación de aforos de Manises (Serie restituida al régimen natural).

4.4.5. Análisis de los resultados del modelo original.

4.4.5.1. Punto de contraste en el río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas (Serie restituida).

El contraste de caudales de la serie de caudales histórica del río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas restituida al régimen natural es el mostrado en la figura 37:

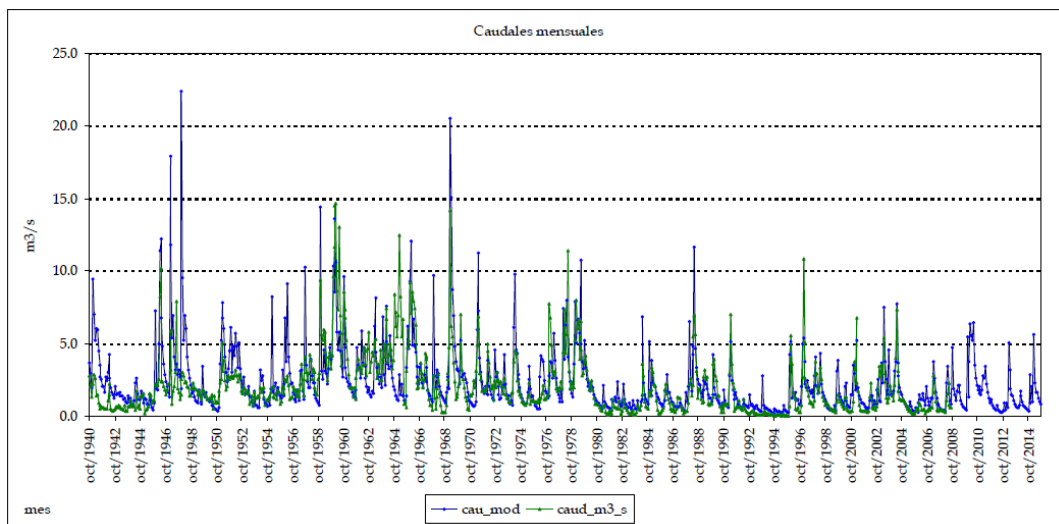


Figura 37. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original del río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas.

En la tabla 17 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sub}$ (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sup}$ (Hm ³ /año)	Q_{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Arquillo de San Blas	Año 40	64.12	50.29	22.70	73.00	69%	13.85%	0.20
	Año 80	34.71	27.70	6.34	34.04	81%	35.59%	0.52

Tabla 17. Datos de caudales y estadísticos del modelo original del río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas.

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados en el punto estudiado el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- En la serie desde el año 1940 la diferencia entre el caudal modelizado y el observado es de un 13.85% , que según Moriasi representa un ajuste bueno al encontrarse entre un entre $\pm 15\%$ y $\pm 10\%$ de dispersión. No obstante, el coeficiente de Nash es de 0.20, por lo que la forma de ambas series históricas no es similar y por tanto es insatisfactoria.
- Para la serie a partir del año 1980 existe una mayor diferencia entre caudales modelizados y observados, un 35.59%, siendo insatisfactorio el ajuste. En cambio para el coeficiente de Nash da un resultado de 0.52, que implica que la forma de ambas series históricas mensuales son similares, por lo que el ajuste del coeficiente E es satisfactorio.
- El valor de las aportaciones no se alterará por este punto debido a que en la serie desde el año 1940 el ajuste es bueno, y en el caso del coeficiente α tampoco puesto que en la serie desde el 1980 da un resultado satisfactorio.

4.4.5.2. Punto de contraste en el río Alfambra en Teruel.

En el río Alfambra a su paso por Teruel el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 38:

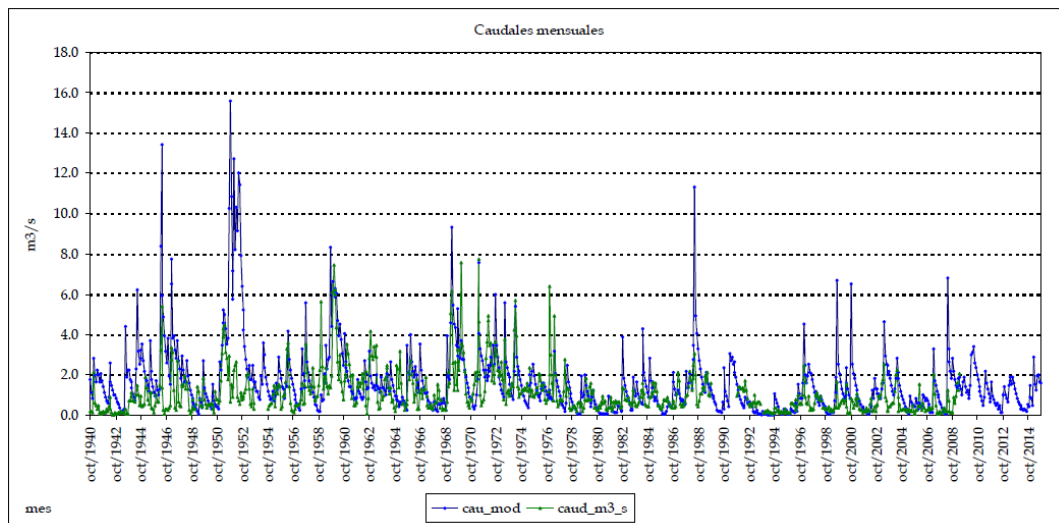


Figura 38. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Alfambra en Teruel.

En la tabla 18 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Alfambra Teruel	Año 40	33.93	40.35	10.36	50.70	80%	49.41%	-1.48
	Año 80	20.79	27.70	6.34	34.04	81%	63.74%	-3.32

Tabla 18. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Alfambra en Teruel.

Con los resultados obtenidos en el río Alfambra en Teruel se pueden analizar varios puntos:

- En la serie desde el año 1940 en el modelo el bias relativo es de un 49.41%, por lo que hay una diferencia de casi el 50% más entre los valores modelizados respecto a los observados, según Moriasi representativo de un ajuste insatisfactorio. Acerca del coeficiente de Nash da un valor de -1.48, resultado más que insatisfactorio puesto que la forma entre ambas series no se parece en absoluto.
- En la serie desde el año 1980 el modelo presenta unos valores de aportación todavía mayores respecto a los observados que en la serie anterior, con una dispersión del 63.74%, siendo insatisfactorio. Acerca del resultado del coeficiente de forma Nash da un valor de -3.32, peor que en la serie previa.
- Los valores para el río Alfambra en Teruel son muy insatisfactorios; el punto analizado da unos resultados que distan mucho de alcanzar los valores mínimos según Moriasi para considerarlo como un ajuste satisfactorio. Por tanto, para el punto analizado en concreto se debería reducir considerablemente el aporte del modelo -en torno a un 30%- con la finalidad de que el punto aporte unos resultados satisfactorios. En cuanto a la forma se debería modificar el coeficiente α de Témez para que ajusten mejor la forma de las series de caudales.

4.4.5.3. Punto de contraste en el río Ebrón en el aforo de los Santos.

El contraste entre los caudales observados y modelizados en el río Ebrón en la estación de aforo de los Santos es el mostrado en la figura 39:

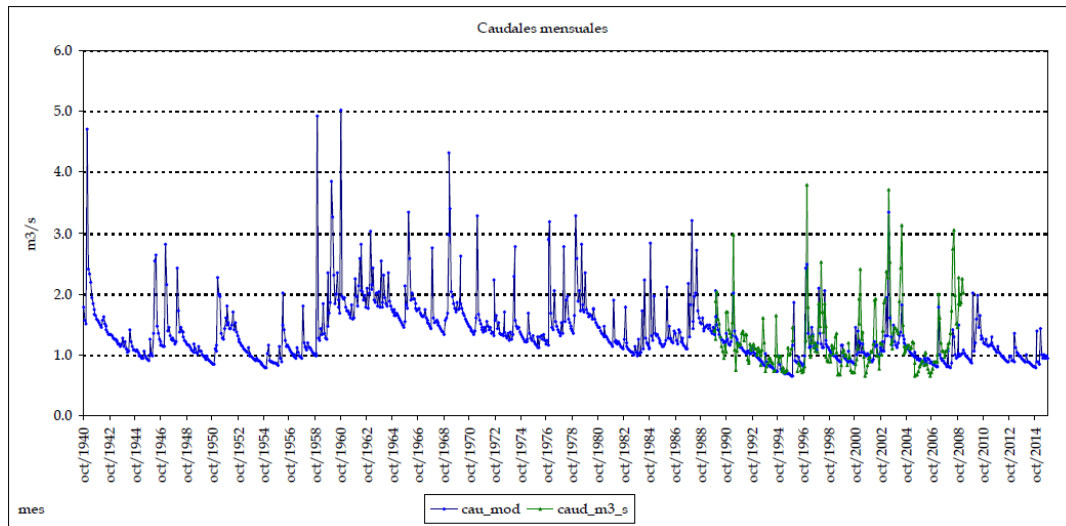


Figura 39. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original del río Ebrón en el aforo de los Santos.

En la tabla 19 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sub}$ (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sup}$ (Hm ³ /año)	Q_{sim} (Hm ³ /año)	%sub/total	BIAS	NASH
Ebrón	Año 40	38.42	38.29	4.24	42.53	90%	10.70%	0.38
	Año 80	38.42	33.14	3.11	36.25	91%	-5.65%	0.38

Tabla 19. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el río Ebrón en los Santos.

Con los resultados obtenidos en el río Ebrón en la estación de aforo de Los Santos se pueden analizar varios puntos:

- En la serie desde el año 1940 el modelo el bias relativo es de un 10.70% siendo un ajuste muy bueno, al encontrarse en el límite del $\pm 10\%$ (ref Moriassi). Acerca del coeficiente de Nash da un valor de 0.38, por lo que ambas series históricas no tienen una forma demasiado similar al encontrarse por debajo de 0.5.
- En la serie desde el año 1980 el modelo aporta un resultado del estadístico PBIAS es de un -5.65%, que al estar por debajo del $\pm 10\%$ es un ajuste muy bueno. No obstante, el ajuste por medio del coeficiente de Nash es 0.38, siendo un ajuste insatisfactorio.
- En el río Ebrón se encuentra muy bien ajustada las aportaciones que el río lleva, aunque el factor de forma no resulte satisfactorio. No obstante, teniendo en cuenta la magnitud del río Ebrón respecto al resto de cauces importantes de la demarcación Hidrográfica del Júcar se puede concluir que es un ajuste adecuado en forma, y por tanto no se debería modificar la aportación del modelo ni el coeficiente α de Témez.

4.4.5.4. Punto de contraste del río Túría en el embalse de Benagéber (Serie restituida).

En la serie restituida al régimen natural del río Túría en el embalse de Benagéber el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 40:

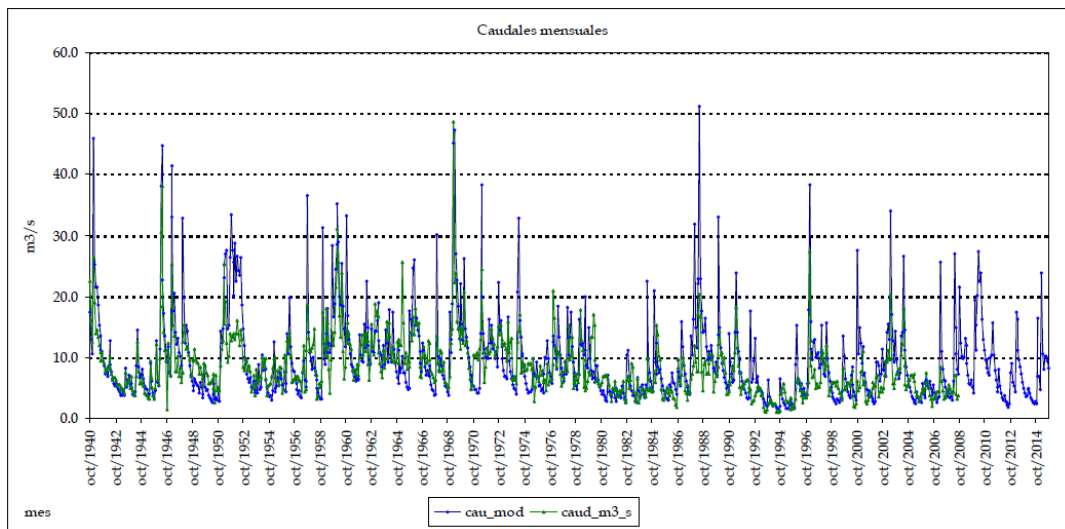


Figura 40. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en la serie restituida en el embalse de Benagéber.

En la tabla 20 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sub}$ (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sup}$ (Hm ³ /año)	Q_{sim} (Hm ³ /año)	%sub/total	BIAS	NASH
Benagéber (Restituida)	Año 40	261.11	232.06	66.18	298.24	78%	14.22%	0.02
	Año 80	183.18	190.39	54.41	244.80	78%	33.64%	-1.00

Tabla 20. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en el embalse de Benagéber.

Con los resultados obtenidos en la serie restituida en el embalse de Benagéber se pueden analizar varios puntos:

- En la serie desde el año 1940 el modelo el bias relativo es de un 14.22% siendo un ajuste bueno, al encontrarse entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$. Respecto al coeficiente de Nash el valor es 0.02, por lo que la forma de ambas series no son similares.
- En la serie desde el año 1980 el modelo aporta un resultado del estadístico PBIAS es de un 33.64.64%, que al ser estar por encima de una variación del $\pm 25\%$ es un ajuste insatisfactorio. Respecto al coeficiente de Nash su valor es -1, por lo que su forma no se parece en absoluto.
- No se deberían de modificar las aportaciones del modelo puesto la serie desde 1940 presenta un ajuste bueno. Acerca de la forma de las series históricas al presentar unos resultados negativos se deberá de modificar el parámetro α de Témex con la finalidad de que ajusten mejor.

4.4.5.5. Punto de contraste del río Túrria en el embalse de Loriguilla (Serie restituida).

En la serie restituida del río Túrria en el embalse de Loriguilla el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 41:

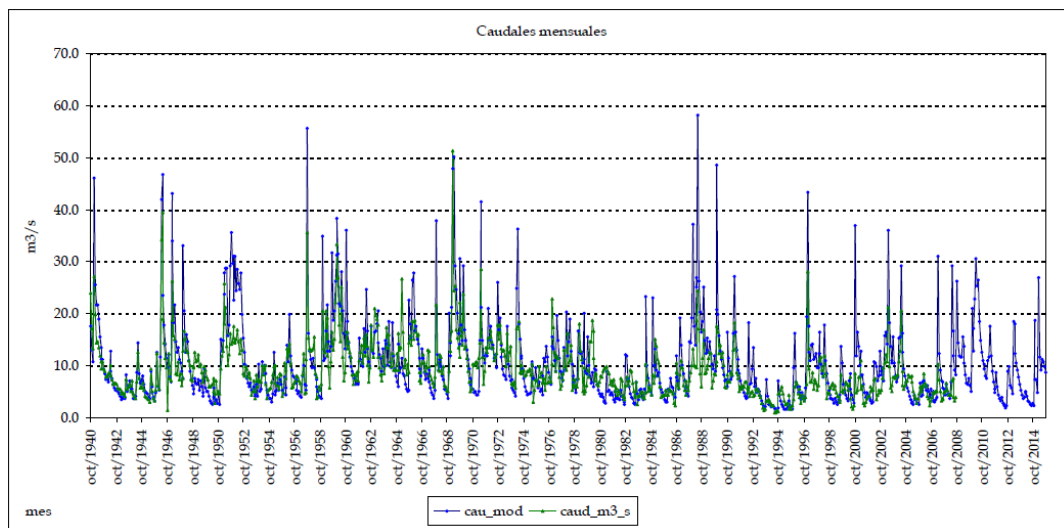


Figura 41. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en la serie restituida en el embalse de Loriguilla.

En la tabla 21 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Loriguilla (Restituida)	Año 40	285.20	254.55	73.48	328.03	78%	15.02%	0.03
	Año 80	207.53	213.74	13.78	227.51	94%	32.80%	-1.30

Tabla 21. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en la serie restituida en el embalse de Loriguilla.

Con los resultados obtenidos en la serie restituida del embalse de Loriguilla se puede analizar diversos aspectos:

- El comportamiento es muy similar al que se produce en Benagéber; el modelo simula sensiblemente mayor aporte que el que en realidad tiene el cauce del Túria, con unos valores de dispersión de un 15% y un 32.8% para las series desde el 1940 y desde el 1980 respectivamente, pero la forma de las series históricas simuladas respecto a las observadas son distintas, dando un 0.03 en la serie desde el año 1940 y un -1.30 desde el 1980. Al igual que en el análisis previo en Benagéber, no se considerará la modificación de las aportaciones del modelo, y se debería de ajustar el parámetro α de Témez para asimilar mejor ambas series de caudales.

4.4.5.6. Punto de contraste de las entradas al embalse de Buseo.

En las entradas al embalse de Buseo el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 42:

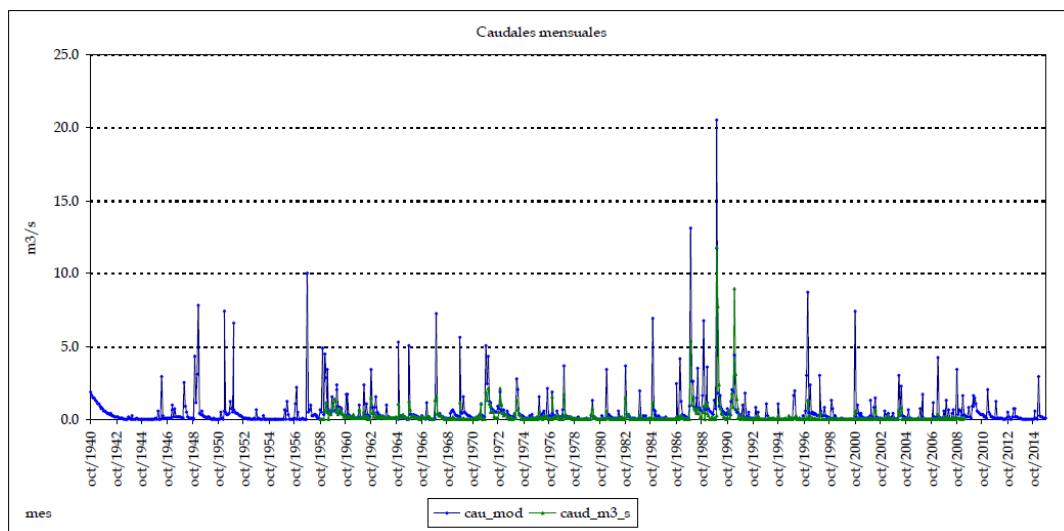


Figura 42. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas al embalse de Buseo.

En la tabla 22 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Buseo	Año 40	7.17	4.98	11.97	16.95	29%	136.47%	-1.33
	Año 80	6.89	4.29	13.78	18.07	24%	162.12%	-1.00

Tabla 22. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en las entradas al embalse de Buseo.

Con los resultados obtenidos en el río Sot en las entradas al embalse de Buseo se puede analizar diversos aspectos:

- En ambas series el comportamiento es prácticamente idéntico; el modelo simula más del doble de aportaciones (más de tres el caso de la serie desde 1980) que las

que de verdad se producen. Por tanto ante tal dispersión la forma de ambas series históricas de caudales no se asemejan en absoluto.

- Por otra parte puesto que la relevancia del río Sot y el embalse de Buseo en comparación con el resto de elementos hídricos que conforman la demarcación Hidrográfica del Júcar es minúsculo; y al estar el modelo creado para que ajuste bien en cauces grandes, en cauces pequeños es un resultado que podría esperarse. Por tanto, no se debería de modificar ni la aportación ni el coeficiente α en el modelo.

4.4.5.7. Punto de contraste del río Túrria en el aforo de Manises (Serie restituida).

En la serie restituida al régimen natural del río Túrria en la estación de aforos de Manises el contraste entre los caudales observados y modelizados es el mostrado en la figura 43:

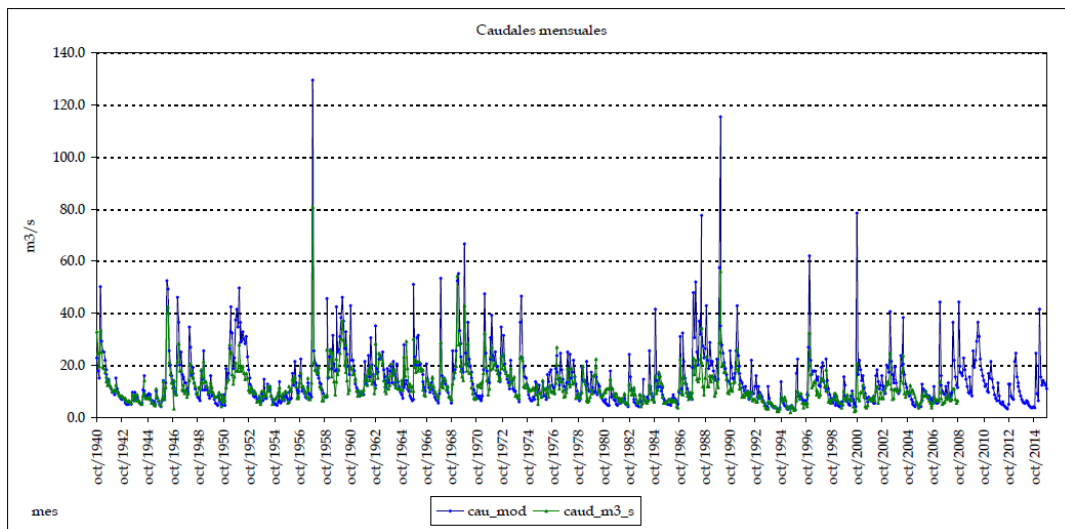


Figura 43. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en la serie restituida en la estación de aforos de Manises.

En la tabla x se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sub}$ (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sup}$ (Hm ³ /año)	Q_{sim} (Hm ³ /año)	%sub/total	BIAS	NASH
Buseo	Año 40	371.47	345.44	108.75	454.19	76%	22.27%	-0.12
	Año 80	294.81	306.34	100.64	406.98	75%	38.05%	-1.31

Tabla 23. Datos de caudales y estadísticos del modelo original en la estación de aforos de Manises.

Con los resultados obtenidos en la serie restituida en la estación de aforos de Manises se pueden analizar varios puntos:

- El comportamiento es idéntico a contrastes analizados en los embalses de Benagéber y Loriguilla. Se simula un mayor recurso hídrico del que de verdad se observa en los puntos, dando como resultado que la dispersión entre ellos sea considerable (Sólo en la serie desde el 1940 se produce un resultado satisfactorio, mientras que en la serie desde el 1980 la dispersión es de casi un 40%). En cuanto

a la similitud entre la forma de las series modelizada e histórica el resultado es que no se parecen en absoluto, dando unos valores de -0.12 y -1.31.

- Por tanto se debería de reducir la aportación del modelo y modificar el coeficiente α de Témez con el propósito de conseguir un menor error en el contraste de resultados.

4.4.6. Conclusiones del análisis del modelo original.

Con los siete contrastes modelo-observado en los puntos de estudio del sistema Túria, las conclusiones que se pueden obtener del funcionamiento de la versión actual del modelo en el sistema son:

1. El río Túria presenta una gran incertidumbre en todo su cauce tras su paso por el embalse del Arquillo de San Blas. El modelo simula en todo el sistema -a excepción del río Ebrón, donde se producen unos resultados razonables- una mayor aportación hídrica que la que en realidad existe en el sistema.
2. La Confederación Hidrográfica del Júcar siempre ha tenido grandes problemas para representar con fiabilidad y poca incertidumbre el comportamiento del río Túria, puesto que no se sabe con exactitud cuáles son los motivos por los que es tan irregular.
3. Es vital una mejora del modelo mediante la aplicación del mapa litológico, puesto que la mayor componente del río Túria es la subterránea. Al representar con mayor exactitud la geomorfología del terreno donde se sitúa el sistema, el modelo tendrá una menor incertidumbre respecto a los puntos donde las masas de agua descargan al río, y por tanto eso implicará que represente mejor la realidad.
4. Se podría efectuar una modificación de los parámetros $H_{m\acute{a}x}$ e $I_{m\acute{a}x}$ de Témez con el propósito de que se produzca una reducción de aproximadamente un 10% de las aportaciones que el modelo genera con el objetivo de conseguir mejores resultados en cuanto a las aportaciones hídricas del río Túria.

4.4.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.

Para la evaluación de los caudales simulados respecto a los observados con la segunda versión del modelo PATRICAL en el sistema Túria se emplearán todos los puntos previos analizados a excepción del Río Sot en el embalse del Buseo, puesto que su relevancia de aportaciones es considerablemente inferior a la del río Túria y sus afluentes más importantes como son el río Ebrón y el río Alfambra.

Por tanto los puntos que se analizarán con la segunda versión del modelo PATRICAL son:

1. Río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas (Serie restituida al régimen natural).
2. Río Alfambra en su paso por la estación de aforos de Teruel.
3. Río Ebrón en el aforo de Los Santos.
4. Río Túria en el embalse de Benagéber (Serie restituida al régimen natural).
5. Río Túria en el embalse de Loriguilla (Serie restituida al régimen natural).
6. Río Túria en la estación de aforos de Manises (Serie restituida al régimen natural).

4.4.7.1. Punto de contraste en el río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas (Serie restituida).

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en la serie restituida del río Guadalaviar en el embalse del Arquillo de San Blas se muestra en la figura 44:

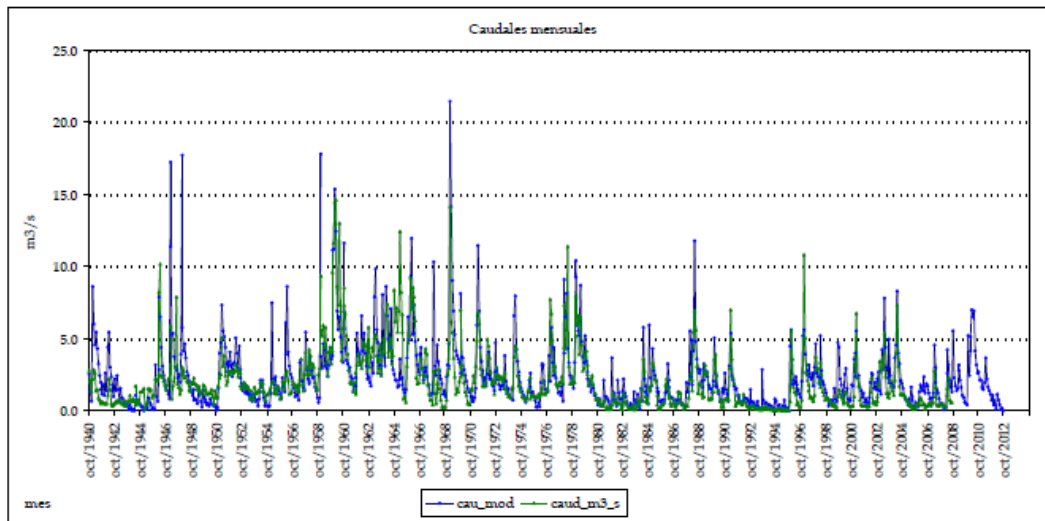


Figura 44. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Arquillo de San Blas.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en la serie restituida a régimen natural del río Guadalaviar en el Arquillo de San Blas se muestran en la tabla 24:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Arquillo de San Blas	Año 40	64.12	54.04	22.11	76.14	71%	18.76%	0.32
	Año 80	34.71	22.21	6.89	29.10	76%	48.97%	0.36

Tabla 24. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el embalse del Arquillo de San Blas.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- Los valores de las aportaciones observadas son superiores a las simuladas. Mientras que en la serie histórica desde el año 1940 el ajuste es bueno, en la serie desde el año 1980 la diferencia entre modelizado y observado es muy grande -casi un 50%-, por tanto se trata de un ajuste insatisfactorio.
- Los coeficientes de forma presentan unos valores de 0.32 y 0.36 respectivamente, siendo un ajuste insatisfactorio según Moriasi.
- En este punto estudiado el nuevo modelo no es capaz de representar con demasiada fiabilidad las aportaciones del sistema.

4.4.7.2. Punto de contraste en el río Alfambra en Teruel.

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en el río Alfambra en la estación de aforos de Teruel se muestra en la figura 45:

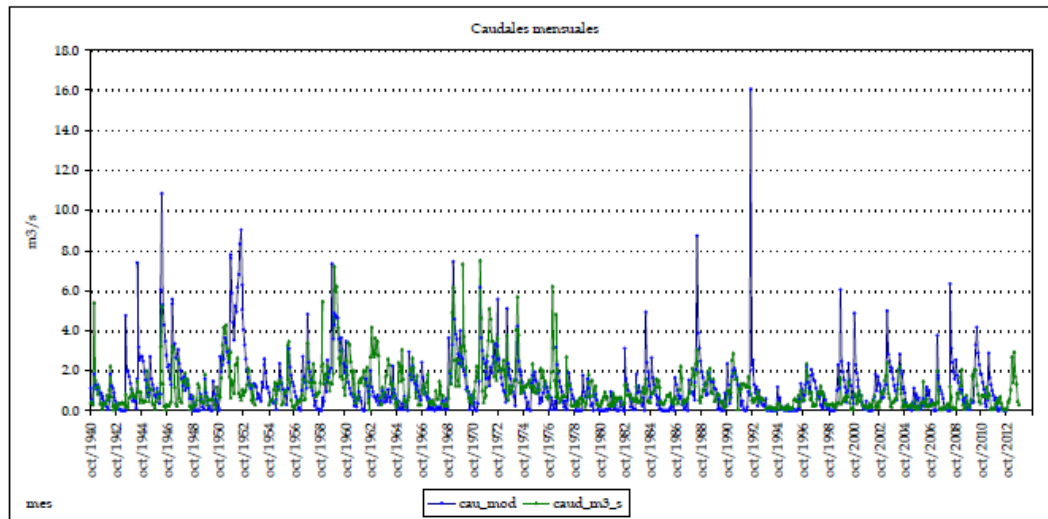


Figura 45. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Alfambra en Teruel.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en el río Alfambra en la estación de aforos de Teruel se muestran en la tabla 25:

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sub}$ (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sup}$ (Hm ³ /año)	Q_{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Alfambra Teruel	Año 40	33.31	30.13	8.50	38.63	78%	15.97%	-0.78
	Año 80	21.47	22.21	6.89	29.10	76%	35.61%	-3.83

Tabla 25. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Alfambra en Teruel.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- Los valores de las aportaciones observadas son superiores a las simuladas. Mientras que en la serie histórica desde el año 1940 el ajuste es bueno con un 15.97% de bias relativo, en la serie desde el año 1980 la diferencia entre modelizado y observado es mayor de un 35%, por lo que se trata de un ajuste insatisfactorio.
- Los coeficientes de forma presentan unos valores de -0.78 para la serie desde el año 1940 y -3.83 para la serie desde el año 1980.
- En este punto estudiado el nuevo modelo no es capaz de representar adecuadamente los valores de las aportaciones del río Alfambra a partir del año 1980, y la similitud de las series difiere mucho.

4.4.7.3. Punto de contraste en el río Ebrón en el aforo de los Santos.

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en el río Ebrón en los Santos se muestra en la figura 46:

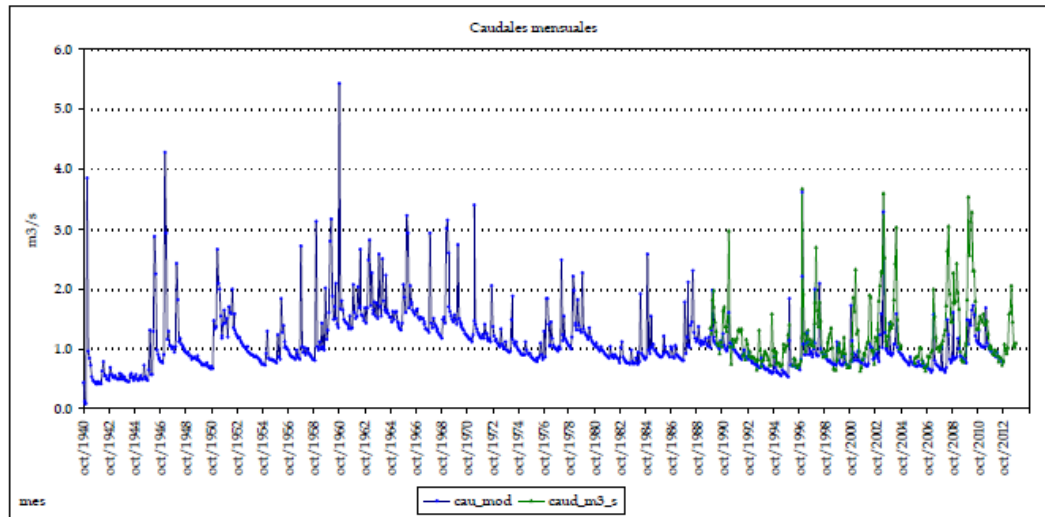


Figura 46. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Ebrón

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en el río Alfambra en la estación de aforos de Teruel se muestran en la tabla 26:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Ebrón	Año 40	38.91	25.89	3.53	29.43	88%	-24.38%	0.12
	Año 80	38.91	25.89	3.53	29.43	88%	-24.38%	0.12

Tabla 26. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado en el río Ebrón en Los Santos.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- El modelo presenta de la misma forma las aportaciones desde el año 1940y desde el 1980, con una deficiencia del 25% respecto a las aportaciones observadas, lo que implica un ajuste satisfactorio.
- El coeficiente de Nash es de 0.12, que dista bastante del valor de 0.5 para calificar el ajuste como satisfactorio.
- En el punto estudiado la nueva versión del modelo PATRICAL el modelo no es capaz de representar con mucha fiabilidad el comportamiento del río Ebrón.

4.4.7.4. Punto de contraste del río Túria en el embalse de Benagéber (Serie restituida).

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en la serie restituida del río Túria en el embalse de Benagéber se muestra en la figura 47:

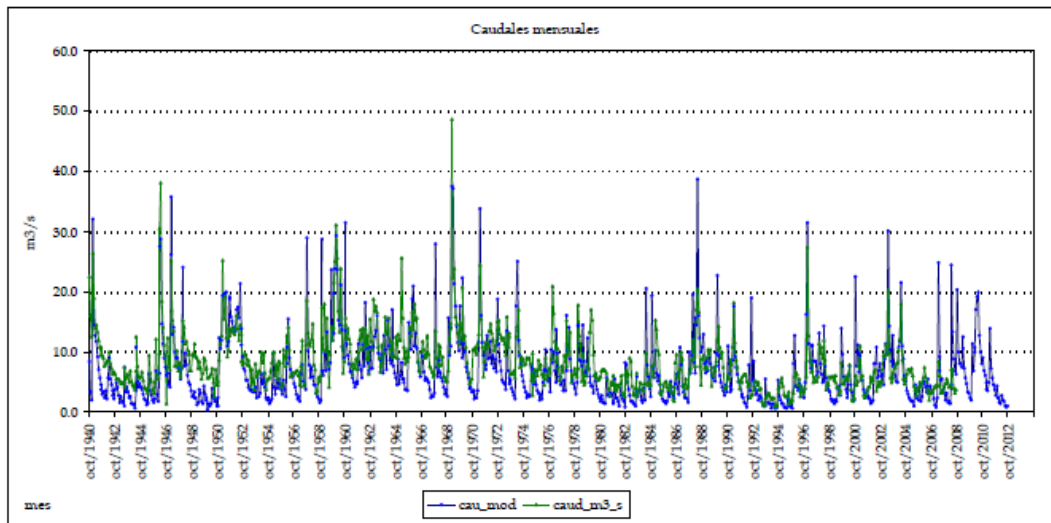


Figura 47. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Benagéber.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en la serie restituida a régimen natural del río Túria en el embalse de Benagéber se muestran en la tabla 27:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Benagéber (Restituida)	Año 40	261.11	158.20	58.45	216.65	73%	-17.03%	0.25
	Año 80	183.18	126.12	48.56	174.68	72%	-4.64%	-0.25

Tabla 27. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado del río Túria en el embalse de Benagéber.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- El ajuste de las aportaciones en el embalse de Benagéber da resultados positivos; en la serie desde el año 1940 es un ajuste satisfactorio próximo a bueno y en la serie desde el año 1980 el ajuste es de un -4.65%, lo que implica un ajuste muy bueno.
- Los coeficientes de forma para las dos series históricas son 0.25 y -0.25, respectivamente. Por tanto, la serie modelizada de aportaciones desde el 1980 no ajusta adecuadamente en forma a la observada.
- En el punto estudiado el modelo representa de manera fiable las aportaciones en el cauce del Túria en el embalse de Benagéber, aunque la forma de la serie histórica no sea representativa del mismo.

4.4.7.5. Punto de contraste del río Túría en el embalse de Loriguilla (Serie restituida).

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en la serie restituida del río Túría en el embalse de Loriguilla se muestra en la figura 48:

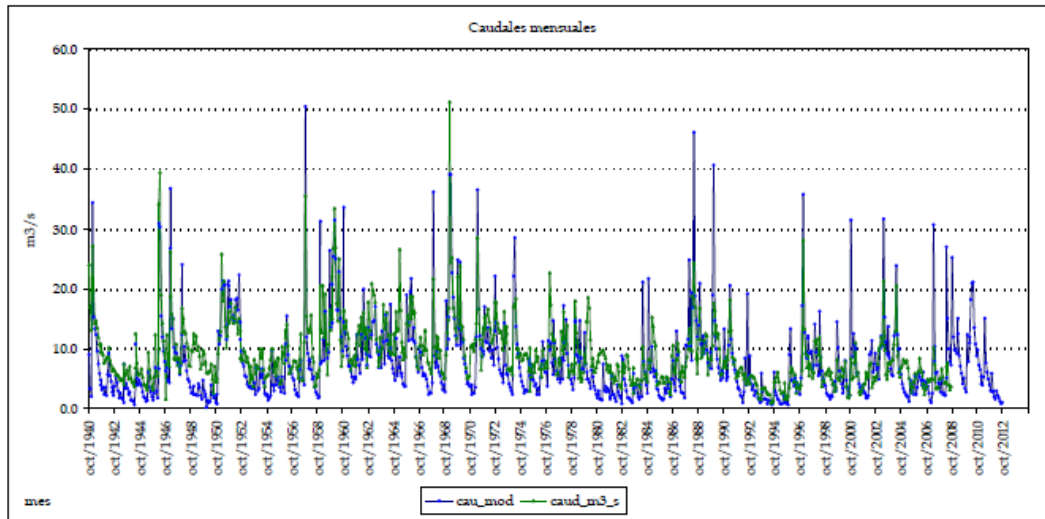


Figura 48. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Loriguilla.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en la serie restituida a régimen natural del río Túría en el embalse de Loriguilla se muestran en la tabla 28:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Loriguilla (Restituida)	Año 40	285.20	174.30	65.82	240.12	73%	-15.81%	0.26
	Año 80	207.53	145.16	56.82	201.99	72%	-2.67%	-0.46

Tabla 28. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado del río Túría en el embalse de Benagéber.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- El ajuste de las aportaciones en el embalse de Benagéber da resultados bastante positivos; en la serie desde el año 1940 es un ajuste bueno -un 15.81% de bias relativo-, y en la serie desde el año 1980 el ajuste es de un -2.67%, lo que implica un ajuste muy bueno.
- Los coeficientes de forma para las dos series históricas son 0.26 y -0.46, respectivamente. Por tanto, la serie modelizada de aportaciones desde el 1980 no ajusta adecuadamente en forma a la observada.
- En el punto estudiado el modelo se comporta igual que en el análisis previo en el embalse de Benagéber; representa de manera fiable las aportaciones en el cauce del Túría en el sistema, aunque la forma de la serie histórica no sea representativa del mismo.

4.4.7.6. Punto de contraste del río Túría en el aforo de Manises (Serie restituida).

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en la serie restituida del río Túría en el aforo de Manises se muestra en la figura 49:

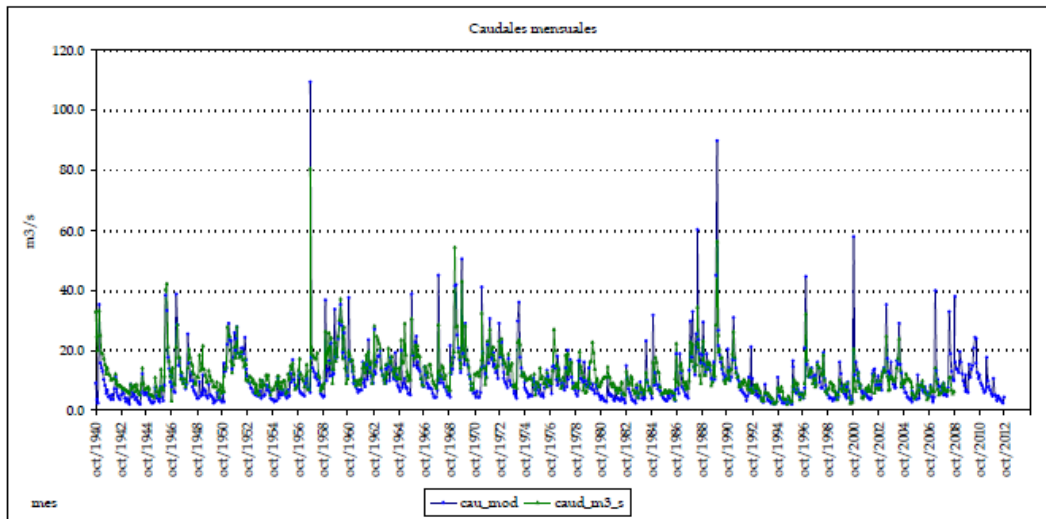


Figura 49. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado de la serie restituida Manises.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en la serie restituida a régimen natural del río Túría en la estación de aforos de Manises se muestran en la tabla 29:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Manises (Restituida)	Año 40	371.47	242.05	86.73	328.78	74%	-11.49%	0.43
	Año 80	294.81	216.13	81.09	297.22	73%	0.82%	0.11

Tabla 29. Datos de caudales y estadísticos del modelo actualizado del río Túría en la estación de aforos de Manises.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- El ajuste de las aportaciones en el aforo de Manises aporta unos resultados muy buenos; en la serie histórica completa desde el año 1940 el valor del bias relativo es de un -11.49%, muy próximo a un resultado de ajuste muy bueno, y en la serie desde el año 1980 el valor del porcentaje de sesgo es de un 0.82%, lo que implica un ajuste casi perfecto en aportaciones modelizadas respecto a las observadas.
- El coeficiente de Nash para la serie desde el año 1940 da un valor de 0.43, muy próximo a considerarse un ajuste satisfactorio según Moriasi. En cuanto a la serie histórica desde el año 1980 el valor es de 0.11, por lo que la forma de la serie histórica de caudales modelizados no es muy similar a la observada.
- Pese a que la forma de las series históricas modelizadas en el punto analizado de la serie restituida del río Túría en la estación de aforos de Manises no sean muy similares respecto a las observadas, se considera que representa de forma fiable el comportamiento de las aportaciones del cauce, pues presenta unos valores modelizados muy similares a los observados.

4.4.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.

Una vez se disponen de los datos de aportaciones simuladas y de estadísticos muestrales de ajuste para el modelo original y el modelo actualizado las conclusiones que se extraen son las siguientes:

1. Como se aprecia en la tabla 30 el resultado de las aportaciones en ambos modelos son significativamente dispares; en el primero se tendía a sobredimensionar el valor de estas, de manera que la representación del sistema Túria por parte del modelo presentaba una gran incertidumbre. En cambio, tras la implementación de la nueva versión que emplea el mapa litoestratigráfico en vez del geológico, con el consecuente aumento de detalle -puesto que este representa mejor el comportamiento hidrogeológico del terreno-, el modelo reproduce mejor los aportes de las masas de agua subterránea al cauce y por tanto los resultados obtenidos se ajustan con bastante precisión a la realidad.
2. Se aprecia que si bien se ha mejorado el valor del coeficiente de Nash, y por tanto de la similitud entre la forma de la serie modelizada respecto de la serie observada, aún sigue distando de ajustar de manera satisfactoria.
3. Se puede concluir que la nueva versión del modelo presenta una mayor fiabilidad que la versión actual en el sistema Túria y representa de manera más veraz el comportamiento del sistema de explotación.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
San Blas	Año 40	64.12	73.00	13.85%	0.20	76.14	18.76%	0.32
	Año 80	34.71	34.04	35.59%	0.52	29.10	48.97%	0.36
Alfambra	Año 40	33.31	50.70	49.41%	-1.48	38.63	15.97%	-0.78
	Año 80	21.47	34.04	63.74%	-3.32	29.10	35.61%	-3.83
Ebrón	Año 40	38.91	42.53	10.70%	0.38	29.43	-24.38%	0.12
	Año 80	38.91	36.25	-5.65%	0.38	29.43	-24.38%	0.12
Benagéber	Año 40	261.11	298.24	14.22%	0.02	216.65	-17.03%	0.25
	Año 80	183.18	244.80	33.64%	-1.00	174.68	-4.64%	-0.25
Loriguilla	Año 40	285.20	328.03	15.02%	0.03	240.12	-15.81%	0.26
	Año 80	207.53	227.51	32.80%	-1.30	201.99	-2.67%	-0.46
Manises	Año 40	371.47	454.19	22.27%	-0.12	328.78	-11.49%	0.43
	Año 80	294.81	406.98	38.05%	-1.31	297.22	0.82%	0.11

Tabla 30. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema Túria

4.5. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN JÚCAR.

AUTOR: ADRIÁN VELARDE RODRÍGUEZ

4.5.1. Descripción del sistema.

El Sistema de Explotación Júcar, el más grande de la demarcación, comprende la cuenca del río Júcar en su totalidad, incluyendo, además todas las demandas que se atienden desde él y las subcuencas litorales comprendidas entre la Gola de El Saler y el límite de los términos municipales de Cullera y Tabernes de Valldigna. La superficie total comprendida por este sistema es de 22,186 km².

Existen en el sistema obras e instalaciones de infraestructuras hidráulicas como embalses y canales. Los embalses más importantes que se encuentran dentro de la cuenca del Júcar y que atienden las demandas son:

- El embalse de Alarcón_-Imagen 21. a-, cuyo uso es la regulación de recursos hídricos y la generación eléctrica. Es de tipo gravedad y tiene una capacidad máxima de 1118 Hm³ aunque su máximo histórico es un tercio de esa capacidad.



Imagen 21. a) Embalse de Alarcón y b) Embalse de Contreras.

- El embalse de contreras_-Imagen 21. b-, que se usa para la producción de energía eléctrica y abastecimiento. Es una presa de gravedad, que se encuentra en el río Cabriel y tiene una capacidad de 850 Hm³.
- El embalse de Tous, es una presa de materiales sueltos de tipo gravedad, utilizada para laminación de avenidas, abastecimiento y riego que se encuentra en el río Júcar y tiene una capacidad máxima de 378.6 Hm³.
- El embalse de Cortes, que es una presa de gravedad utilizada para riego y la producción de energía situada en el río Júcar y que tiene una capacidad máxima de 118 Hm³.
- El embalse de Bellús, situado en la zona sur del sistema, en el río Albaida, es una presa de gravedad que tiene una capacidad de 69 Hm³ y es usado para la defensa frente avenidas y riego.

Además de estos embalses de mayor envergadura, existen otros embalses e infraestructuras como: La toba (11.1 Hm³), El Picazo (0.1 Hm³), El Molinar (4.3 Hm³), Almansa (2.8 Hm³), El Bujioso (1 Hm³), Villora (0.1 Hm³), La Lastra (1 Hm³), El Batanejo (0.1 Hm³), Embarcaderos (11 Hm³), La Muela (20 Hm³), Naranjero (29 Hm³), Escalona (7 Hm³) y Forata (37 Hm³). Asimismo, los canales que se pueden encontrar dentro de este sistema de explotación son: Canal del Magro, Canal de Maria Cristina, Canal Júcar-Turía, y la Acequia Real del Júcar.

Esta cuenca se encuentra en la parte central de la demarcación y las masas de agua superficial más importantes son los ríos Júcar, Valdemembra, Arquillo, Cabriel, Reconque,

Escalona, Sellent, Cañoles, Albaida, Magro y el Arroyo de Ledaña. A continuación, se describen algunos de ellos a lo largo de la cuenca del sistema:

- El río Júcar, el de mayor envergadura con una longitud total de 498 km, nace en las serranías de Cuenca, en el cerro de San Felipe. Discurre en dirección sur hasta el embalse de Alarcón, pasando por el embalse de la Toba y la ciudad de Cuenca -Imagen 22-, y confluyendo en él ríos como el Moscas o el Huécar por la margen izquierda, y el río Marimota por la margen derecha.



Imagen 22. Río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca.

Pasado el embalse de Alarcón discurre en dirección sur para luego girar en dirección oeste dónde confluyen el río Valdemembra, el arroyo Ledaña y el canal de María Cristina, pasando por la central de El Picazo y el embalse de El Molinar, hasta llegar al embalse de Embarcaderos dónde se produce la confluencia con el río Cabriel -Imagen 23-. Desde este punto, discurre por una serie de embalses, como son Cortes II y El Naranjero, unos pocos kilómetros hasta llegar al embalse de Tous.



Imagen 23. Confluencia del río Júcar y el río Cabriel.

A partir del embalse de Tous, el valle del río Júcar se abre dando paso a la zona de la Plana de Valencia, desembocando en el mar Mediterráneo en las cercanías de Cullera -Imagen 24-. Recibe en este tramo las aportaciones del río Albaida por la derecha y del río Magro por la izquierda. A lo largo de su recorrido por la Plana, el nivel del acuífero está por encima del cauce del río, por lo que éste recibe los aportes de las masas de agua subterránea.



Imagen 24. Desembocadura del río Júcar.

- El río Cabriel -Imagen 25- nace en la vertiente meridional del nudo de San Juan. En su parte alta, las aportaciones provienen de la surgencia de acuíferos, recibiendo la mayor parte de estas entre Pajaroncillo y el embalse de Contreras. Hasta este embalse, los principales afluentes del Cabriel son, por la margen izquierda, los ríos Martín y Ojos de Moya, y por su margen derecha, el río Guadazaón. Tras el embalse de Contreras, el río circula desarrollando numerosos meandros y hoces en su tramo final antes de unirse al Júcar.



Imagen 25. Río Cabriel a su paso por Pajaroncillo.

- El río Albaida nace en las proximidades del pueblo de Albaida, recogiendo el drenaje de las sierras de la Filosa y Benicadell. Sus principales afluentes son el Clariano y el Cãñoles, por su margen izquierda, y el río Barcheta, por su margen derecha. Es de destacar la existencia del río de los Santos, afluente del Cañoles, de grandes aportaciones a pesar de su pequeña cuenca superficial. Son frecuentes las surgencias y las infiltraciones en toda la cuenca y destacan por su importancia los manantiales de Bellús.

Por último, se definen 41 masas de agua subterránea, comprendidas dentro del Sistema de Explotación Júcar, no necesariamente de manera exclusiva. Las más importantes por envergadura son:

- La Mancha Oriental, con una superficie de 3,300 km² se sitúa en la llanura de Castilla-La Mancha. La recarga de este acuífero procede de infiltración tanto de lluvia como de algunos ríos (p. ej.: el río Lezuza, o el río Jardín). Se encuentra en grave regresión debido a los bombeos excesivos producidos en los últimos años en la zona de Los Llanos de Albacete.

- Las Serranías de Cuenca, ocupa la parte central de dicha provincia, con una superficie de 2.600 Km². La recarga del sistema procede de la infiltración del agua de lluvia y de aportes laterales procedentes de otras unidades. La descarga se produce a través de toda la cabecera de la cuenca del Júcar, ya sea por los cauces de los ríos Júcar, Cabriel y sus afluentes o por manantiales y humedales como la Laguna de Uña o las numerosas fuentes que se encuentran en esta parte del sistema.
- Montes Universales, su superficie de 1,300 km² se extiende entre las provincias de Cuenca, Teruel y Valencia. La recarga de este acuífero procede de la infiltración de las precipitaciones de la zona y descarga en diversos ríos de distintos sistemas de explotación. En el sistema que se está analizando, este acuífero surge al río Cabriel principalmente, aportando gran volumen de agua con respecto a la superficial.

4.5.2. Relaciones Río-Acuífero

4.5.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.

En el sistema de explotación Júcar existen 70 manantiales (IGME, 2011), los cuales se aprecian en la Figura 50 que pueden distribuirse en tres zonas de la siguiente manera:

-En la cabecera del sistema se encuentra la Serranía de Cuenca, los Montes Universales, el Vallanca y la zona Utiel-Requena, en la que se encuentran 29 manantiales. La mayoría de éstos se encuentran conectados a la red de masas de agua superficial, lo que significa que las masas de agua subterránea descargan el agua a la superficie por estos manantiales. Los que no se encuentran conectados a la red de ríos son fuentes aisladas que dan servicio a pequeños pueblos.

-El tramo medio del río Júcar, que a lo largo del curso aguas abajo del embalse de Alarcón y hasta su llegada al embalse de Embarcaderos, se encuentra a su paso 11 manantiales que están conectados a él directamente o a alguno de sus afluentes. Todos ellos forman parte del acuífero de la Mancha Oriental.

-El tramo final del río Júcar y la zona sur-este de la cuenca, en el que se encuentran los 30 manantiales restantes. Estos manantiales corresponden a las masas de agua subterránea de Caroch Norte, Caroch Sur, la Plana de Valencia Sur, Sierra Grossa, Sierra Mariola y Villena-Benjema. De ellos se observa que están conectados al tramo de desembocadura del río Júcar directamente, aunque la mayoría a alguno de sus afluentes. Asimismo, existen 4 manantiales que surgen en la Albufera de Valencia y que mantienen esta zona de interés con agua continuamente.



Figura 50. Manantiales del sistema Júcar.

De la misma manera, dentro de la cuenca de estudio existen lagos, humedales y zonas de protección especial, como son entre otras, la Albufera de Valencia, Laguna de Uña, Laguna de Arquillo, Laguna Ojos de Villaverde, Laguna de Ontalafia, Complejo lagunar de Fuentes, Laguna de los Cedazos, Complejo lagunar de las Torcas de Cañada Hoyo, Complejo lagunar de Arcas/Ballesteros, y la Laguna del Marquesado.

- La Albufera de Valencia,-Imagen 26.a- es una laguna costera localizada al sur de la ciudad de Valencia, que se halla separada del mar por la barra del Saler. Junto con la marjal colindante (arrozales en su mayoría), tiene una extensión de 210 km², aunque en la actualidad el lago apenas llega a los 28 km². La presencia de aguas dulces es permanente. Hay que destacar que la mayor parte del agua que llega a ella lo hace a través de canales que antes han regado los campos o han recogido aguas residuales; el resto corresponde a aguas subterránea procedentes de los acuíferos de la Plana de Valencia, con los que la Albufera está relacionada hidráulicamente.



Imagen 26. a) Albufera de Valencia y b) Las Torcas de Cañada Hoyo

- Las Torcas de Cañada del Hoyo,-Imagen 26.b- en la cuenca del río Guadazaón son un conjunto de doce lagunas de origen kárstico; la mitad de ellas presentan permanentemente agua, mientras que el resto tienen régimen estacional.
- La laguna de Uña esta modificada y ampliada por el hombre para servir de embalse regulador al salto de Villalba del embalse de La Toba, por lo que cuenta con agua permanentemente.
- La laguna del Marquesado es de agua dulce, ocupa una superficie de 6 Ha y se sitúa al noreste de la localidad que le da nombre.

4.5.2.2. Relación Río-Acuífero.

Con la información disponible en los estudios realizados por el Instituto Geológico y Minero Español (IGME), se puede definir los tramos en los que el río es ganador, perdedor o variable (IGME-DGA, 2010). Que el río sea ganador significa que las masas de agua subterránea están realizando un aporte de recursos al cauce. De la misma manera, si el río es perdedor significa que el cauce está infiltrando parte de los recursos hídricos superficiales al acuífero para recargarlo ya que éste tiene un nivel más bajo que el río. También existe una tercera opción, que es el río variable, lo que el IGME representa con esta definición es que estos tramos son estacionales y en ciertas épocas del año son ganadores, y en otras épocas son perdedores.

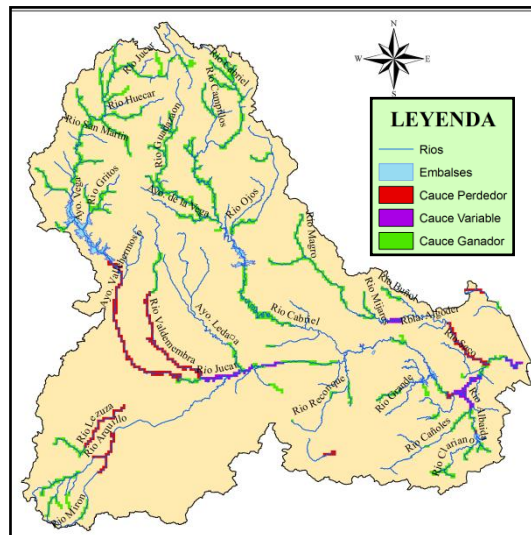


Figura 51. Relación Río-Acuífero del Sistema Júcar.

En la Figura 51 se puede observar que en la zona de la cabecera del sistema las masas de agua subterránea descargan el recurso hídrico subterráneo a través tanto del río Júcar como del río Cabriel y de la mayoría de los afluentes de ambos, es decir, que prácticamente todos los ríos de la cabecera son ganadores. También se puede ver cómo el río Cabriel es ganador aguas abajo del embalse de contreras hasta su confluencia con el río Júcar. Sobre el acuífero de la Mancha Oriental, se encuentran la mayoría de tramos perdedores del sistema, que son el río Júcar aguas abajo del embalse de Alarcón y el río Valdemembra desde Motilla del Palancar hasta su confluencia con el río Júcar. Además, sobre este acuífero también se encuentra el río Lezusa, que también se trata de un cauce perdedor.

De la misma manera, existen otros tramos de cauce perdedores como el tramo final del río Magro antes de su confluencia con el río Júcar y un tramo desde el azud de Antella hasta el río Sellent. Por último, existen ciertos tramos en los que la relación río-acuífero es variable, debido a la climatología y la estacionalidad, y éstos son el río Júcar entre la confluencia del río Valdemembra y el municipio de Alcalá del Júcar, el río Júcar aguas debajo de la confluencia con el río Sellent hasta la Rambla Casella, el río Magro a la salida del embalse de Forata así como aguas abajo del Azud de Sueca.

4.5.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Con la información conocida de manantiales, lagos, humedales, relación río-acuífero y las masas de agua subterránea e intersectando todos estos datos entre sí, se puede deducir qué masas de agua subterránea descargan a la superficie y por qué lugares.

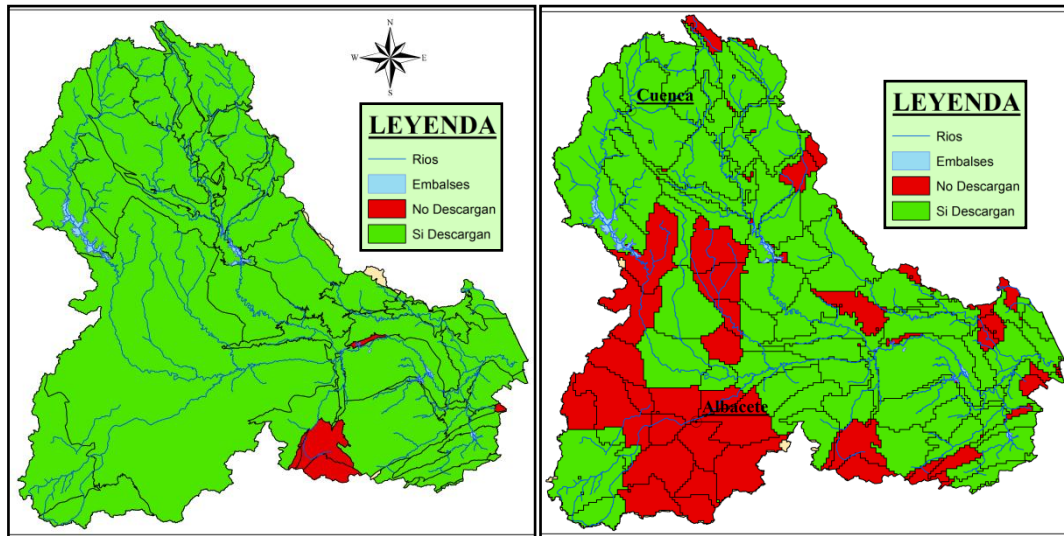


Figura 52. a) Masas de Agua Subterránea y b) sus sectores del Sistema Júcar.

En esta imagen -Figura 52.a- se observa que todas las masas de agua subterránea descargan a la superficie por algún punto dentro del sistema, excepto tres masas compartidas con el sistema Vinalopó-Alicantí, que podrían estar surgiendo por dicho sistema, y un acuífero definido como acuífero de interés local.

Además, el PATRICAL modeliza estas masas de agua en sectores más pequeños en los que se define la descarga del acuífero a la superficie.

En la Figura 52.b se puede observar con mayor concreción por qué zonas de las masas de agua se producen las descargas a la superficie. Es decir, al disgregar las masas de agua grandes en sectores más pequeños, se puede apreciar por qué zonas en concreto el acuífero está aportando los recursos hídricos subterráneos al sistema a través de las masas de agua superficial.

4.5.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el Plan Hidrológico del Júcar (PHJ) se definen las masas de agua superficial que existen en la confederación, y se representan como puntos de desagüe de éstas masas. En la Figura 53.b se pueden ver representados los puntos de masas de agua que define el PHJ para el sistema Júcar.

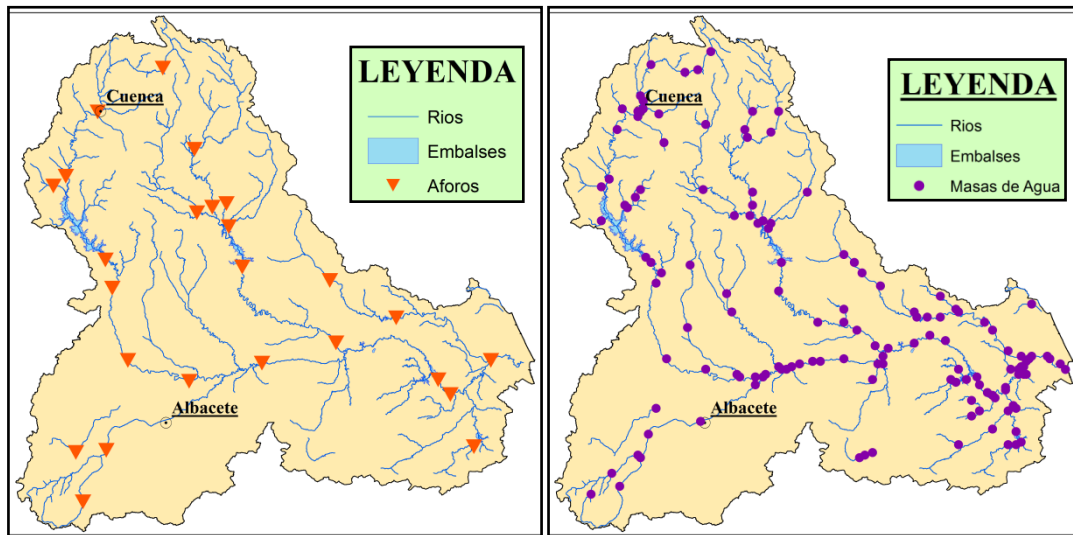


Figura 53. a) Aforos y b) Masas de Agua Superficial.

En cada punto de la *Figura 53.b*, el modelo PATRICAL simula los recursos hídricos disponibles dando como resultado los caudales que circulan por las masas de agua superficiales. Al tratarse estos caudales de una modelización del sistema, se deben contrastar con caudales realmente observados para saber si el modelo se ajusta a la realidad.

Para realizar estos contrastes se usan las estaciones de aforos que se definen en el PHJ, que miden los caudales reales de las masas de agua en las que están instalados esos aforos. En la *Figura 52.a* se muestra la localización de todos los aforos del sistema Júcar teniendo en cuenta que los embalses también realizan la tarea de medir el caudal que pasa por ellos.

Una vez se superpone la información disponible, se obtienen los puntos del sistema dónde se puede contrastar el modelo y saber si éste se ajusta a la realidad o no.

4.5.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.

De todos los puntos de contraste que coinciden con masas de agua, se analizarán los siguientes:

-De la Cabecera del Sistema:

-En el río Júcar son los siguientes: Venta de Juan Romero, embalse La Toba, río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca, el Castellar, y las entradas al embalse de Alarcón.

-En el río Cabriel son los siguientes: el aforo Villora, río Ojos de Moya en Camporrobles, y las entradas al embalse de Contreras.

-Del curso medio del río Júcar hasta su llegada al embalse de Tous:

-De los 6 aforos de la CHJ que existen en este tramo, solo se analizará: el embalse de El Molinar.

-De la desembocadura del río Júcar y la zona sur-este del sistema:

-Por último, de los numerosos aforos que existen en la zona, solo se estudiarán las entradas al embalse de Tous y el Azud de Sueca ya que ambas son series restituidas a régimen natural. Solo se pueden estudiar estos casos porque el flujo en esta zona está demasiado alterado por las infraestructuras existentes.

4.5.4. Análisis de los resultados del modelo original.

El análisis que se va a realizar comenzará por la cabecera del sistema, primero los aforos que se encuentran a lo largo del río Júcar hasta su llegada al embalse de Alarcón y posteriormente los aforos que se encuentran en el río Cabriel hasta su llegada al embalse de Contreras.

4.5.4.1. Punto de contraste del río Júcar en la venta de Juan Romero.

El primer aforo en el que se puede realizar un contraste de caudales es en el aforo situado en la Venta de Juan Romero. A continuación -Figura 54 y Tabla 31- se muestran los datos disponibles en este punto:

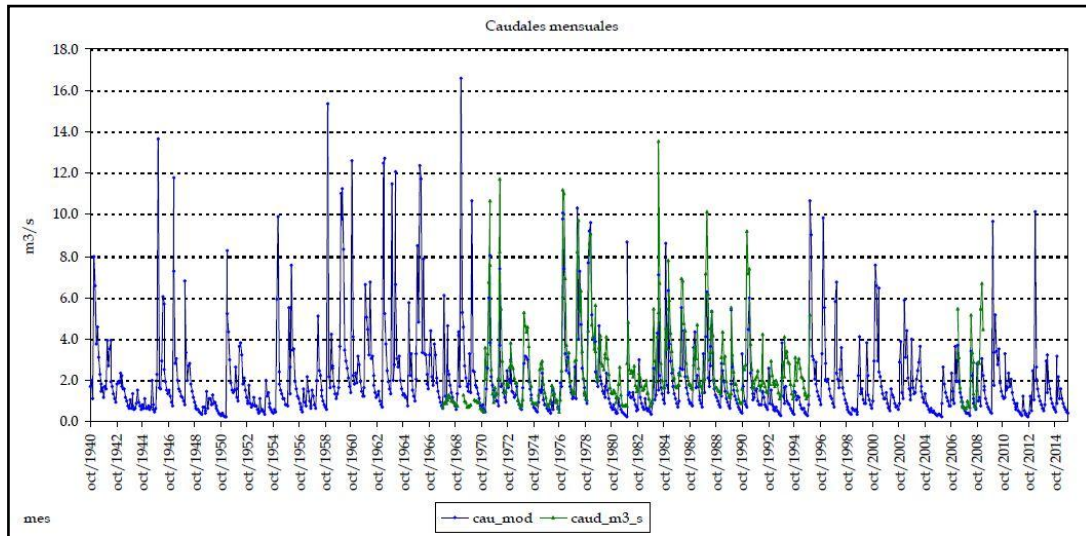


Figura 54. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el aforo de la Venta de Juan Romero.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
V. Juan Romero	Año 40	80.80	36.81	27.84	64.65	57%	-19.98%	0.40
	Año 80	80.84	31.33	21.11	52.45	60%	-35.12%	0.15

Tabla 31. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el Aforo de la Venta de Juan Romero.

Con la información disponible que se muestra en la Figura 52 y en la Tabla 31, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- Con respecto al porcentaje de caudal subterráneo que descarga a la superficie se observa que es mayor del 50% del caudal total desde el año 40 y que incluso aumenta al 60% para el año 80. Esto indica que el aporte subterráneo de recursos hídricos es más importante que el aporte superficial.
- Además, el caudal total simulado desde el año 80 se ve reducido si se compara con el caudal total calculado desde el año 40. Lo que se deduce de hecho es que las aportaciones desde el año 80 son menores.
- En cuanto a los estadísticos de control del modelo, que son el BIAS y el NASH, indican que los caudales simulados difieren de los observados. Se aprecia como el modelo aporta un 20% menos de agua con respecto al observado desde el año 40, y un 35% menos si se compara con cálculo realizado desde el año 80.

4.5.4.2. Punto de contraste del río Júcar en el embalse La Toba.

El siguiente punto dónde poder realizar un contraste de los caudales es en el embalse La Toba, ya que estas infraestructuras miden los caudales de entrada y por tanto se puede realizar una comparativa con los resultados que proporciona el modelo. A continuación se muestran los datos disponibles en este punto:

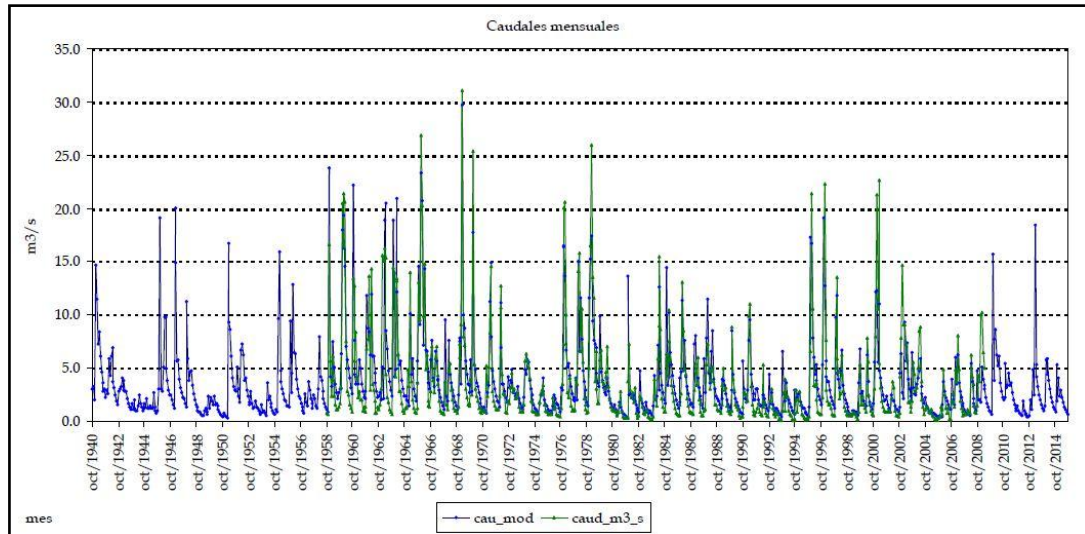


Figura 55. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse La Toba.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse La Toba	Año 40	113.15	73.04	44.19	117.24	62%	3.61%	0.72
	Año 80	85.94	62.15	33.92	96.07	65%	11.79%	0.60

Tabla 32. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de la Toba.

Con la información que se extrae de la Figura 55 y en la Tabla 32, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- La relación de caudal subterráneo frente al caudal total supera el 60%, y se incrementa según si el cálculo se realiza desde el año 40 o desde el año 80. Lo que evidencia este dato es la gran dependencia que tiene este río de los aportes de recursos hídricos que provienen de acuíferos.
- Además, el caudal total simulado desde el año 80 se ve reducido si se compara con el caudal total simulado desde el año 40. Lo que se deduce de hecho es que las aportaciones desde el año 80 son menores.
- Con respecto a los estadísticos de control del modelo indican que, con un Índice de Nash muy bueno y un BIAS cercano al cero, el ajuste es muy bueno. Estos estadísticos empeoran cuando se modeliza desde el año 80, pero aun así se mantiene el buen ajuste del modelo. Observando el resultado del BIAS se aprecia que es positivo para ambas simulaciones, desde el año 40 y desde el año 80, y además que el modelo simula recursos hídricos para este punto en demasía con respecto del modelo aunque no es excesivo dicho aumento.

4.5.4.3. Punto de contraste en el río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca.

El tercer punto dónde se puede realizar un contraste del modelo es en el aforo del río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca, en el que se miden los caudales desde el año 40. La información que arroja este punto al ser contrastado con el modelo es la siguiente:

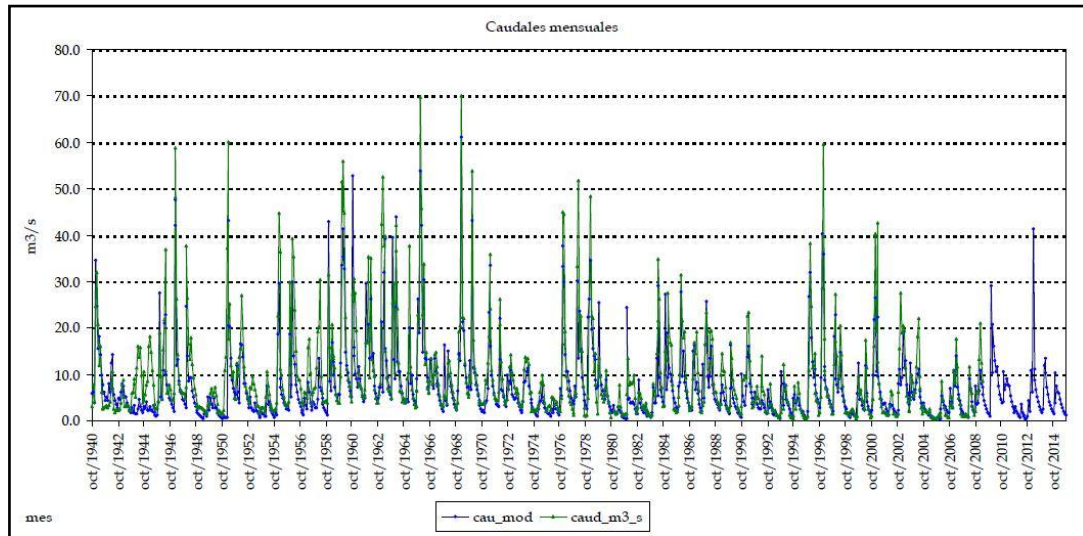


Figura 56. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el aforo de la ciudad de Cuenca.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Cuenca	Año 40	298.49	141.06	92.42	233.48	60%	-21.78%	0.68
	Año 80	225.49	117.48	67.16	184.65	64%	-18.11%	0.66

Tabla 33. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el aforo de la ciudad de Cuenca. Con la información expuesta en la Figura 56 y en la Tabla 33, se pueden realizar una serie de observaciones y son las siguientes:

- El caudal subterráneo representa más del 60% del caudal total simulado en este punto e incrementa si sólo se contemplan los datos desde el año 80. Además, los caudales totales comparados con los puntos de contraste anteriores son mayores, lo que indica que el río continúa ganando recursos a medida que avanza.
- Además, el caudal total simulado desde el año 80 se ve reducido si se compara con el mismo dato desde el año 40. Lo que se deduce de hecho es que las aportaciones desde el año 80 son menores.
- A su vez, los estadísticos de control del modelo ponen de manifiesto que la varianza de los datos observados con respecto a los calculados por el modelo es buena ya que están por encima de 0.65, y que el BIAS es aceptable aunque negativo, que implica que el modelo está simulando menor volumen de recursos en este punto con respecto a la realidad, y mejora si la simulación se realiza desde el año 80 con respecto al cálculo realizado desde el año 40.

4.5.4.4. Punto de contraste del río Júcar en el aforo El Castellar.

El cuarto punto del río Júcar en la cabecera del sistema es el llamado río Júcar en el aforo El Castellar. Este punto se encuentra a pocos kilómetros aguas arriba del embalse Alarcón y la información que se obtiene de él se exponen en la *Figura 57* y en la *Tabla 34*.

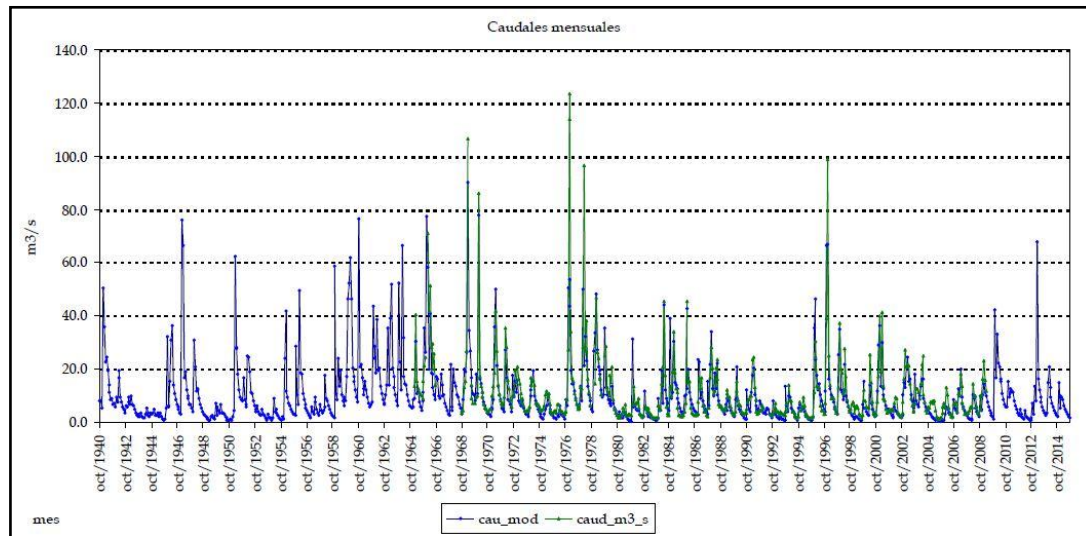


Figura 57. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Júcar en el aforo El Castellar.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
El castellar	Año 40	348.69	191.74	134.30	326.04	59%	-6.50%	0.67
	Año 80	271.54	157.37	96.86	254.23	62%	-6.37%	0.67

Tabla 34. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Júcar en el aforo El Castellar.

Una vez hecho el análisis de esta información, se obtienen algunas observaciones acerca de este punto, y son las siguientes:

- El caudal total simulado desde el año 80 es 70 Hm³/año, menor que el medido desde el año 40.
- A este hecho se suma la característica que del caudal calculado por el modelo, un 60% proviene de las masas de agua subterránea que descargan al río. A su vez, el porcentaje de agua subterránea aumenta desde el año 80, por lo que se deduce que a partir de éste año se reducen las aportaciones superficiales y por tanto se disminuye el caudal total y además se extrae mayor volumen del recurso hídrico subterráneo.
- Por lo que respecta a los estadísticos de control del modelo PATRICAL, no cambian según el año desde el que se realice la simulación y lo que muestran es un ajuste muy bueno de los datos observados y los modelizados, tanto para el BIAS como el NASH, indicando el primero que el modelo simula menor cantidad de agua que la realmente registrada.

4.5.4.5. Punto de contraste de las entradas embalse de Alarcón.

El último punto que se encuentra en el río Júcar, en la zona de la cabecera del sistema es el embalse de Alarcón. Se trata de una serie restituida a régimen natural y al realizar el cruce de datos con el modelo se obtiene la siguiente información:

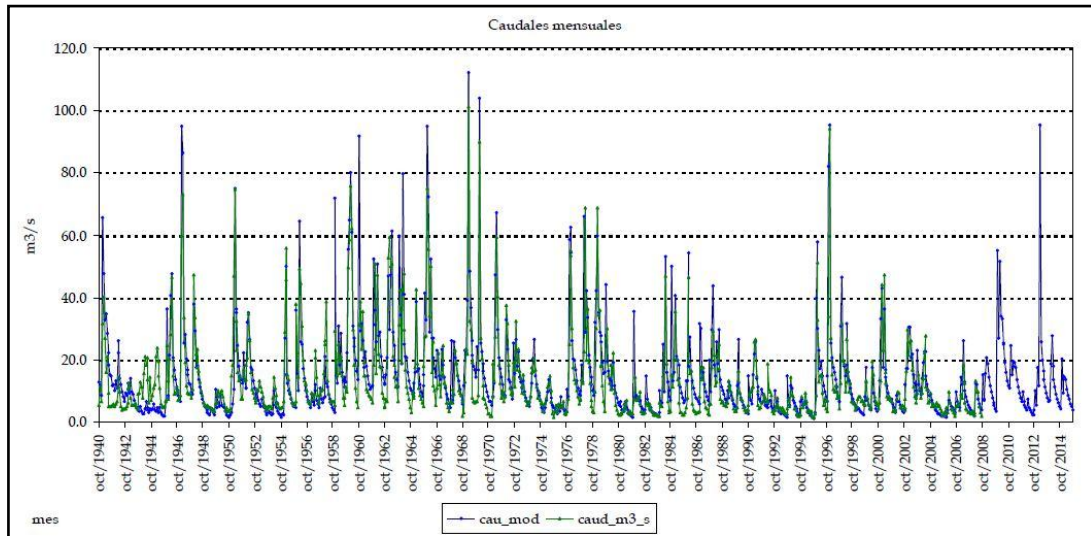


Figura 58. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Alarcón.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse Alarcón	Año 40	406.32	305.20	157.05	462.24	66%	13.76%	0.62
	Año 80	287.25	250.47	115.83	366.30	68%	27.52%	0.57

Tabla 35. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Alarcón.

Con la información de la que se dispone -Figura 58 y Tabla 35-, es posible obtener una serie de observaciones que son las siguientes:

- El caudal total simulado desde el año 80, es en 100 Hm³/año menor que el calculado desde el año 40. Este hecho pone de manifiesto que los recursos hídricos han disminuido en gran medida.
- A este hecho se le suma la misma característica que con anterioridad se ha repetido, y es que el volumen de agua subterránea respecto del total de los aportes ha aumentado y supone más del 65% del recurso hídrico de la simulación.
- Por último, los estadísticos de control que se han utilizado muestran un ajuste del Índice de Nash bueno aunque se ve reducido cuando se realiza el cálculo desde el año 80. De la misma manera, el BIAS desde el año 40 también es bueno, simulando una cantidad de recursos hídricos superiores con respecto al observado. Este hecho se repite si la simulación se realiza desde el año 80, aunque en este caso el volumen de recursos hídricos supone casi un 30% más de diferencia con el observado.

Como conclusión, los parámetros que habría que ajustar en el modelo no están claros y por tanto, lo recomendado sería no modificar ninguno, ya que el modelo ajusta bien con los parámetros establecidos.

Para continuar analizando la cabecera del sistema, se procederá a estudiar el río Cabriel desde su nacimiento hasta su llegada al embalse de Contreras.

4.5.4.6. Punto de contraste del río Cabriel en el aforo Villora (1).

El primer punto de contraste a lo largo del cauce del río Cabriel, es el aforo Villora (1) que se encuentra aguas arriba de la confluencia del río Cabriel con el río Guadazahón, encontrándose este aforo en el primero de ellos. La información que arrojan los datos observados al intersectarlos con la modelización del PATRICAL es la siguiente:

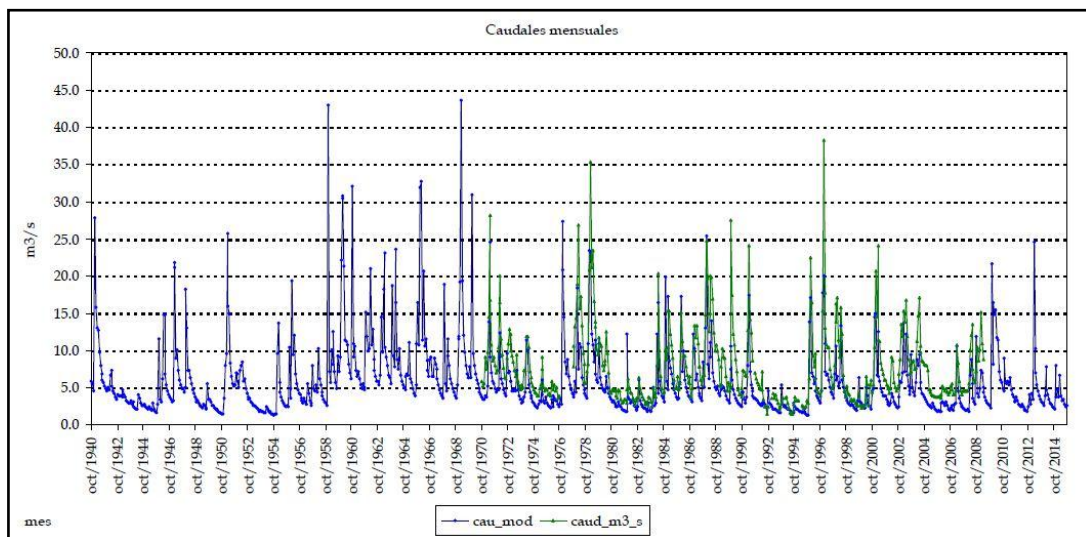


Figura 59. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Cabriel en aforo Villora.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Villora (1)	Año 40	242.52	135.98	49.79	185.77	73%	-23.40%	0.40
	Año 80	225.65	114.44	35.65	150.09	76%	-33.48%	0.39

Tabla 36. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Cabriel en aforo Villora.

De estos datos que se pueden ver en la Figura 59 y en la Tabla 36, se extraen las siguientes afirmaciones:

- El caudal subterráneo supone el 75% del total de los recursos hídricos modelizados en este punto, lo que supone una gran dependencia de la descarga de las masas de agua subterránea a la superficie.
- Además, como ya se ha apreciado en el tramo del río Júcar analizado, se produce una disminución en el caudal total en el año 80 con respecto al cálculo desde el año 40, y un aumento del volumen de los recursos hídricos subterráneos que vierten a la superficie.
- Por otro lado, variables de control del modelo muestran una variabilidad de los datos observados con respecto a los modelizados insatisfactorios ya que el cálculo realizado arroja un 23% menos de volumen desde el año 40 y un 33% menos de volumen desde el año 80 si se compara con el observado en la realidad. Esta situación puede deberse a los parámetros de cálculo del modelo que están pensados para grandes ríos.

4.5.4.7. Punto de contraste del río Martín en el aforo Villora (2).

Este punto de contraste se encuentra en un pequeño afluente del río Cabriel llamado río Martín en el aforo Villora (2), que desemboca en el embalse de Contreras. Los datos que proporciona dicho punto se muestran a continuación:

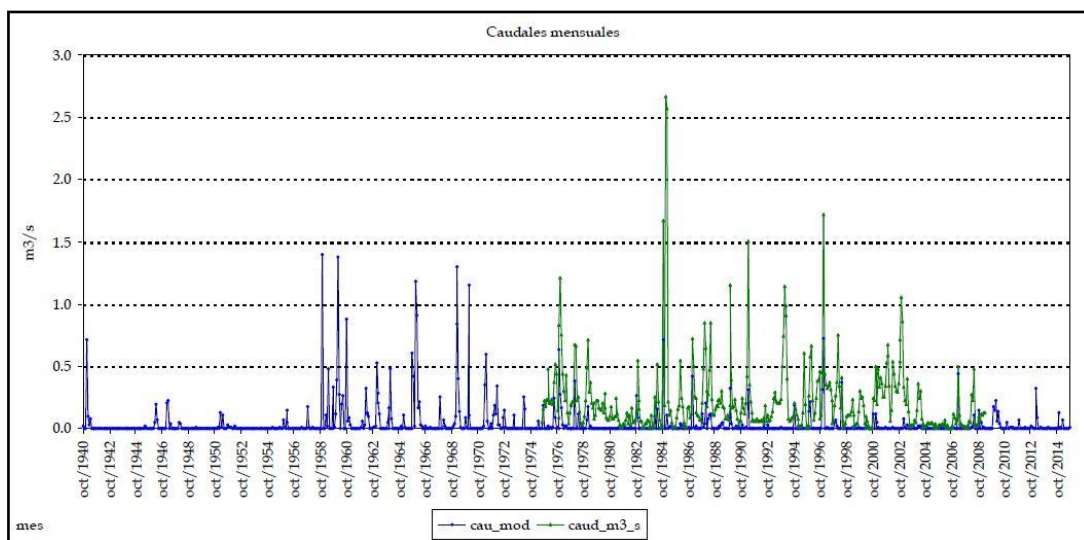


Figura 60. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Martín en aforo Villora.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Villora (2)	Año 40	6.80	0.10	1.09	1.18	8%	-82.60%	-0.21
	Año 80	6.54	0.00	0.66	0.66	0%	-89.88%	-0.18

Tabla 37. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Martín en el aforo Villora.

Dada la poca envergadura de este río, es poco significativo en el balance, que se muestra en la Figura 60 y en la Tabla 37, de recursos hídricos en el sistema, aunque se pueden observar las siguientes características:

- Los caudales totales simulados se ven reducidos casi un 50% si el cálculo se realiza desde el año 80 con respecto al cálculo realizado desde el año 40. Esta situación indica que el modelo contempla que a partir del año 80 se reducen los recursos hídricos del sistema.
- El caudal subterráneo modelizado no supone un gran aporte a este río, siendo prácticamente 0 desde el año 80.
- Por lo que respecta a los estadísticos de ajuste, en ningún caso es aceptable el ajuste de la simulación a la realidad. Este resultado era de esperar, ya que como se ha comentado con anterioridad los parámetros con los que trabaja el modelo están ideados para grandes masas de agua y este río es de poca envergadura.

4.5.4.8. Punto de contraste del río ojos de Moya en Camporrobles.

El tercer punto de contraste en el río Gabriel se encuentra en uno de sus afluentes, el río Ojos de Moya. Dicho río se encuentra en la zona este del sistema y confluye con el río Gabriel en el embalse de Contreras. Los datos recogidos por este aforo y contrastados con los obtenidos del modelo se muestran a continuación:

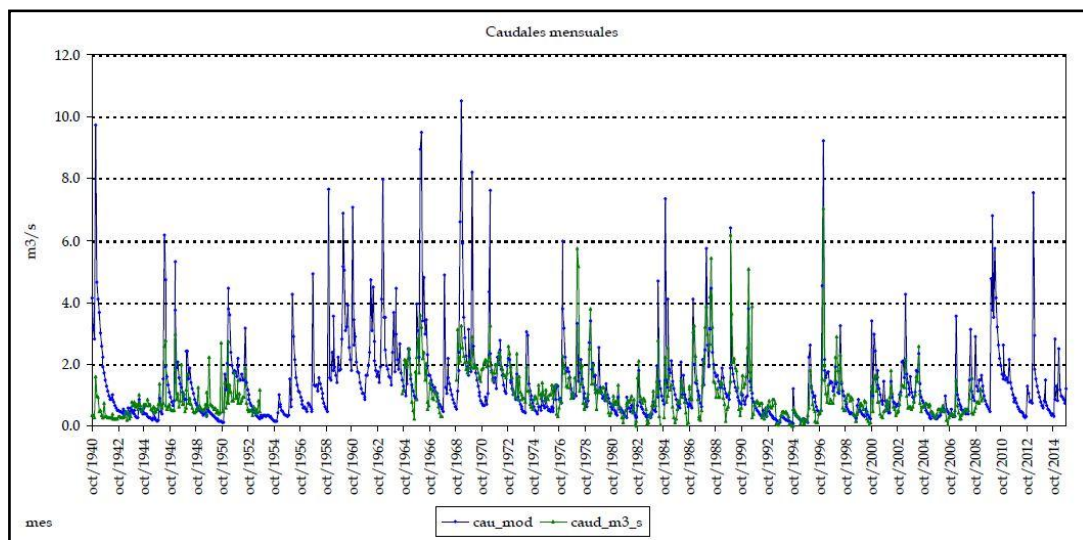


Figura 61. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Ojos de Moya en Camporrobles.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Camporrobles	Año 40	32.34	31.30	11.62	42.92	73%	32.69%	-0.45
	Año 80	28.65	25.59	9.68	35.28	73%	23.11%	0.44

Tabla 38. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el río Ojos de Moya en Camporrobles.

Tras realizar el análisis de los datos mostrados en la Figura 61 y en la Tabla 38, es posible hacer las siguientes observaciones a cerca del funcionamiento del modelo en este punto:

- El aporte de recursos hídricos al sistema que se simula en este punto es un 73% dependiente de las masas de agua subterránea, es decir, únicamente la cuarta parte del caudal total simulado en este punto proviene de aportes superficiales.
- A pesar de la reducción del caudal total modelizado en el año 80 con respecto al medido desde el año 40, el porcentaje de recurso hídrico subterráneo que se aporta a las masas de agua superficial se mantiene en un 73%.
- Por otro lado, al poner la atención en el porcentaje de sesgo y el Índice de Nash, se observa una mejora si el cálculo se realiza desde el año 80 con respecto al año 40. Por lo que se aprecia con estos estadísticos, se deduce que el modelo se ajusta en absoluto a la realidad en los primeros años de registros, pero si el cálculo se realiza desde el año 80 se produce una mejora con un resultado que se puede considerar como satisfactorio para el ajuste del modelo a la realidad.

4.5.4.9. Punto de contraste de las entradas al embalse de Contreras.

El último punto de análisis en la cabecera del sistema Júcar es el embalse de Contreras, en el que se miden las entradas de caudales. Se trata de la serie de caudales registrados restituidos a régimen natural. A continuación se muestra la información contrastada disponible en este punto:

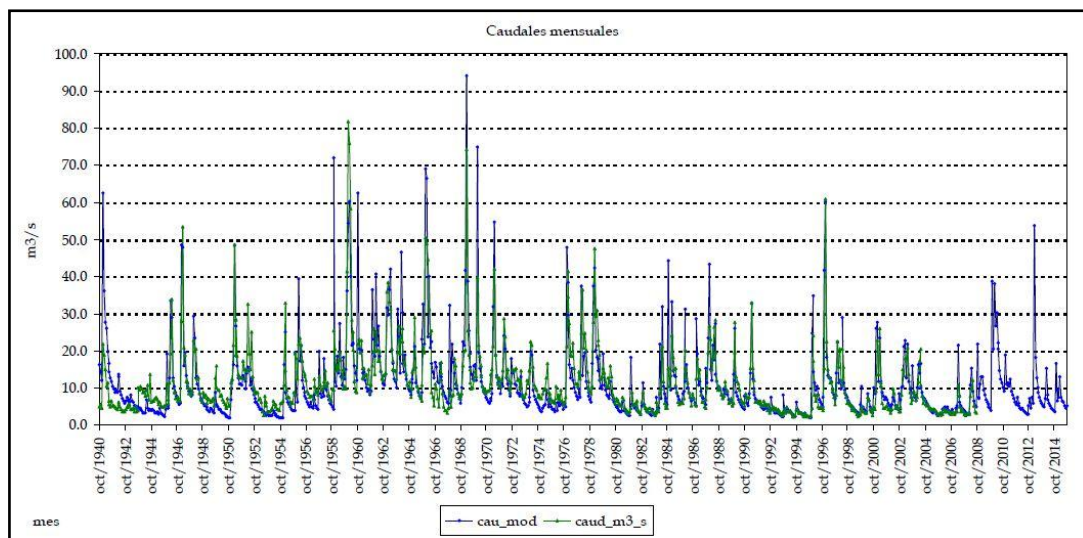


Figura 62. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Contreras.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Contreras	Año 40	346.17	244.30	101.19	345.49	71%	-0.20%	0.56
	Año 80	242.28	201.09	74.21	275.30	73%	13.63%	0.59

Tabla 39. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Contreras.

Con los datos que los que se disponen Figura 62 y en la Tabla 39, y una vez realizado el análisis se obtienen las siguientes observaciones:

- La simulación del caudal es altamente dependiente del aporte hídrico subterráneo, suponiendo más del 70% del total del recurso hídrico.

- Además, se produce un decremento en el caudal si el cálculo se realiza desde el año 80 con respecto a si se realiza desde el año 40. Esta situación se produce por la disminución de las precipitaciones en la zona que son el aporte de agua que se realiza por superficie.
- En lo que concierne a los estadísticos de ajuste del modelo, se observa que en la simulación realizada desde el año 40, el porcentaje de sesgo es prácticamente perfecto ya que da una relación entre caudal observado/modelizado de -0.2 (el caso perfecto es 0). Por lo que respecta al índice de Nash la relación de los datos expone que el ajuste de los datos observados y modelizados es satisfactoria. De la misma manera, si el cálculo se realiza desde el año 80 las observaciones son similares, con la salvedad que el BIAS es muy bueno pero no perfecto.

La conclusión del análisis de este tramo sería modificar los parámetros del modelo que controlan el cálculo del caudal en cada punto, y de esta manera lograr disminuir los volúmenes generados por la simulación en este punto.

Para continuar con el análisis del sistema, se estudiarán los puntos de contraste que se encuentran en el tramo medio del río Júcar, aunque de los que se hallan en esta situación solo se estudian los aforos con las series de caudales restituidos a régimen natural.

4.5.4.10. Punto de contraste en el embalse de El Molinar.

En el tramo medio del río Júcar a pesar de la existencia de más aforos, el único punto en el que se pueden contrastar datos, ya que es una serie restituida a régimen natural, es el embalse de El Molinar. La información disponible en este punto y los contrastes con los resultados del modelo se muestran a continuación:

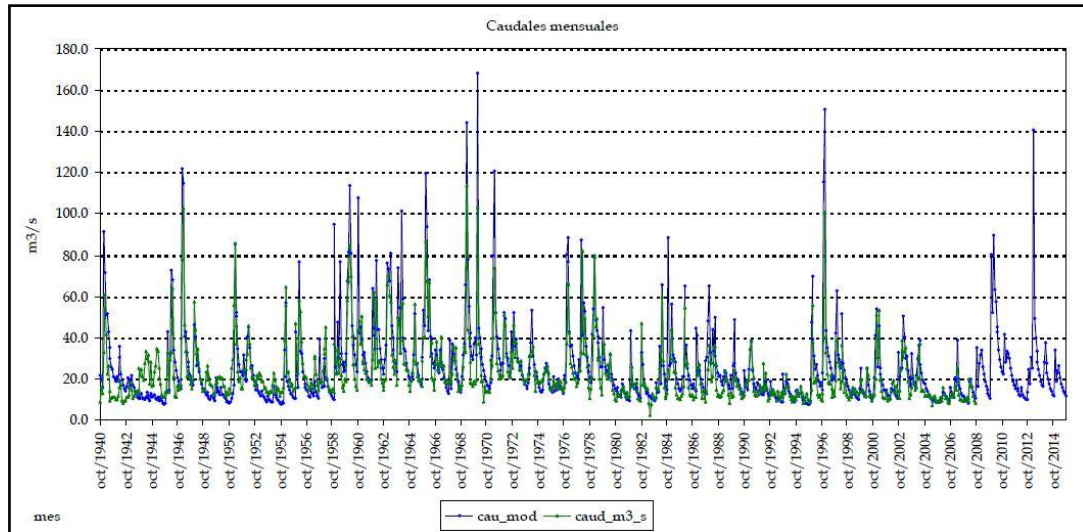


Figura 63. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de El Molinar.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse El Molinar	Año 40	697.94	605.97	196.89	802.86	75%	15.03%	0.34
	Año 80	526.27	531.73	148.26	679.99	78%	29.21%	0.07

Tabla 40. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de El Molinar.

Con el análisis realizado a través del modelo PATRICAL -Figura 63 y Tabla 40- se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Los caudales simulados son fuertemente dependientes de los recursos hídricos subterráneos, ya que éstos suponen más de un 75% del caudal total calculado en este punto.
- En lo que respecta a los estadísticos de ajuste del modelo, la simulación supone un volumen de agua un 15% mayor que el observado, que es un ajuste bueno y un índice de Nash insatisfactorio lo que indica que la forma que toma el modelo no se ajusta a la realidad, cuando se realiza el cálculo desde el año 40. Si la simulación se calcula desde el año 80, el modelo empeora ya que el volumen de agua que el modelo simula es un 30% mayor que la realidad, un valor insatisfactorio y además el índice de Nash es próximo a cero que indica que la forma del modelo no se parece prácticamente en nada a la realidad.

La conclusión que se extrae a partir del análisis de este punto es que habría que disminuir el volumen simulado entre un 15% y un 30%, modificando los parámetros del modelo.

Por último, el tramo de desembocadura del río Júcar y la zona sur-este del sistema se pueden analizar contrastando los datos en el embalse de Tous y en el Azud de Sueca. No existen en este punto un gran número de puntos de contraste, y esto se debe a que el cauce del río Júcar llega a esta zona altamente modificado, debido a infraestructuras hidráulicas.

4.5.4.11. Punto de contraste en el embalse de Tous (Serie restituida).

El punto de contraste en el embalse de Tous es uno de los más importantes del sistema. Se encuentra aguas debajo de la confluencia del río Júcar y el río Cabriel, y es el primer punto de contraste que se encuentra en el tramo final del río Júcar. A continuación se muestran los datos del modelo contrastados con los datos observados:

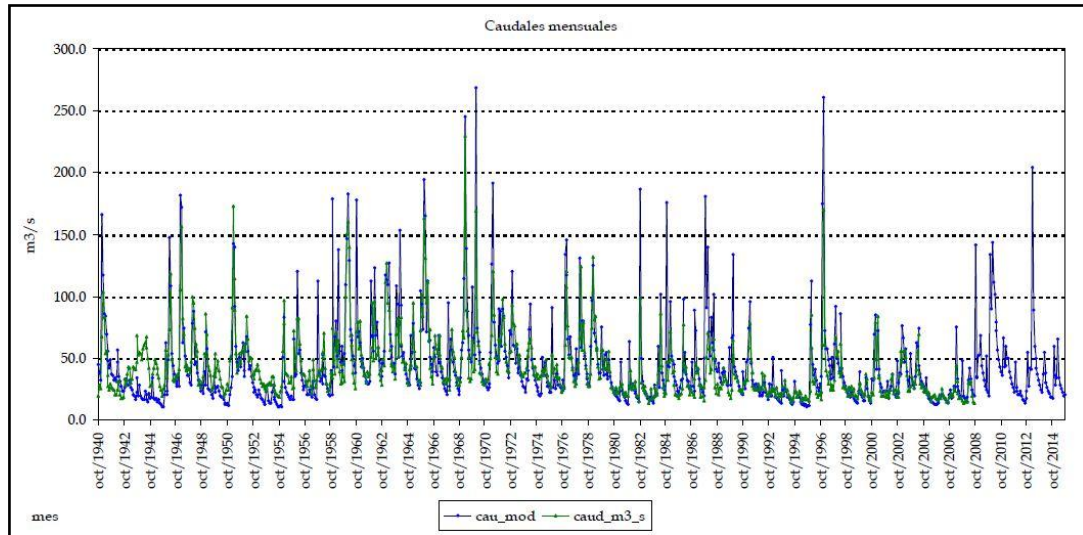


Figura 64. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Tous.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse de Tous	Año 40	1294.19	978.88	387.64	1366.52	72%	5.59%	0.34
	Año 80	922.65	856.52	314.96	1171.48	73%	26.97%	-0.41

Tabla 41. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Tous.

Con la información disponible en la Figura 64 y en la Tabla 41, y tras realizar un análisis de ésta, las observaciones realizadas son las siguientes:

- Del caudal total modelizado, más del 70% proviene de masas de agua subterránea, tanto si la modelización se realiza desde el año 40 como desde el año 80. Este factor es característico para todo el río ya que desde su cabecera la relación río-acuífero es en mayor parte ganadora.
- En lo que respecta al BIAS, si se calcula teniendo en cuenta toda la serie histórica, es decir, desde el año 40, se observa que el modelo simula mayor volumen de agua que el observado en este punto aunque este ajuste es muy bueno. Por otro lado, si se pone la atención en el Índice de Nash se observa que es insatisfactorio, lo que quiere decir que la forma de la serie modelizada no se parece a la forma de la serie observada.

- Además, si se realiza el mismo análisis desde el año 80 se pone de manifiesto un claro empeoramiento del modelo, siendo tanto el BIAS como el Índice de Nash insatisfactorios.

La conclusión obtenida a partir del análisis en el embalse de Tous es la necesidad de disminuir el caudal simulado en dicho punto entre un 5% y un 25%.

4.5.4.12. Punto de contraste en el Azud de Sueca (Serie restituida).

El último punto de contraste que se analizará en el sistema es el río Júcar a su paso por el Azud de Sueca. Este es el último punto que tiene su serie histórica de aportaciones restituida a régimen natural. La información que arroja este punto de contraste al intersectarlo con el modelo es la siguiente:

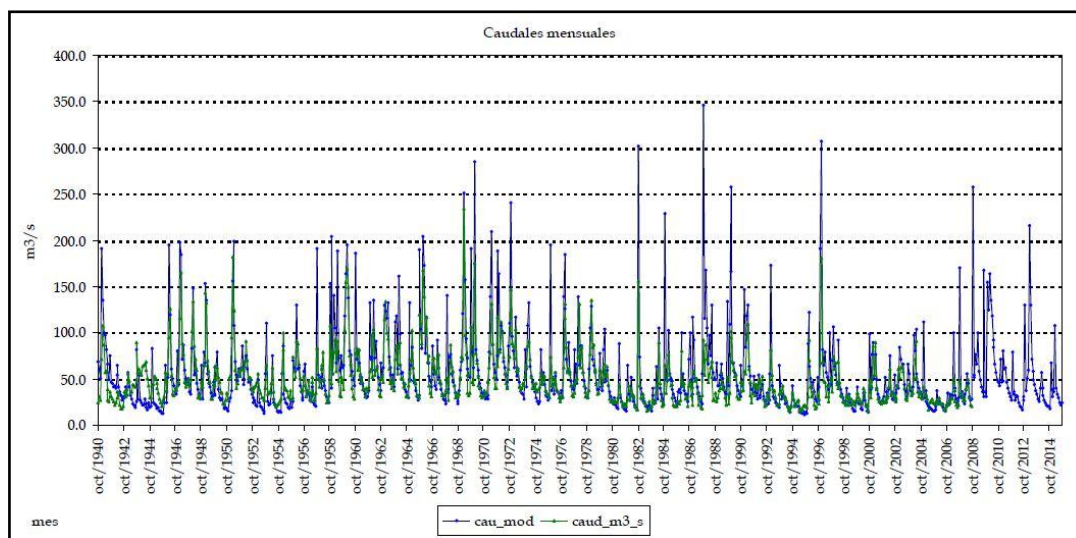


Figura 65. Serie histórica de caudales observados y modelados con el modelo original del río Júcar en el Azud de Sueca.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Azud de Sueca	Año 40	1520.31	1188.78	570.83	1759.61	68%	15.74%	-0.02
	Año 80	1172.16	1062.59	506.82	1569.41	68%	33.89%	-1.28

Tabla 42. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Júcar en el Azud de Sueca.

Con la información extraída de este análisis -Figura 65 y Tabla 42- se observan las siguientes características:

- El porcentaje de caudal subterráneo simulado con respecto del total calculado disminuye comparándolo con los puntos de contraste anteriores. En este caso supone un 68% del recurso total mientras que en los puntos anteriores de la misma zona suponían más del 70%.

- Además se observa una reducción de los aportes totales si el cálculo se realiza desde el año 80, comparado con la serie histórica completa. Ese hecho se debe a la disminución de precipitaciones desde los años 80.
- Por lo que respecta a los estadísticos de control del modelo se observa que si el cálculo se realiza para la serie completa, el sesgo de los datos es un valor muy bueno (Moriasi) pero que el Índice de Nash es totalmente insatisfactorio, representando la poca calidad de la forma del modelo en este punto comparada con los datos observados realmente.
- De la misma manera, si el cálculo se realiza desde el año 80 los estadísticos muestran unos valores totalmente insatisfactorios poniendo de manifiesto que el modelo en este punto no se ajusta a la realidad de los datos medidos.

Del análisis realizado en el tramo final del río Júcar, desde el embalse de Tous hasta su desembocadura en Cullera, la conclusión que se alcanza es que habría que reinterpretar los parámetros del modelo, teniendo en cuenta que éste tiene que simular entre un 20% y un 30% menos de agua y tiene que ajustarse la forma de la serie simulada a la realmente observada.

4.5.5. Conclusiones del análisis del modelo original.

La conclusión general de los resultados que arroja el modelo actual para el sistema de explotación Júcar, es que es necesaria una mejora en los parámetros de calibración.

Los parámetros que se proponen mejorar para que el modelo simule con mayor precisión los volúmenes en cada punto son: H_{max} , que es la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo y la I_{max} , que es la capacidad de infiltración máxima.

Por otro lado, se propone la mejora del parámetro alpha (α) de Témez, lo que produce que la forma de los datos simulados cambie y se ajuste mejor a la realidad.

Por último, el cambio más significativo que se introduce en el modelo es el cambio de mapa básico geológico por un mapa litoestratigráfico, que incluye mayor nivel de detalle por sus singularidades hidrogeológicas entre otras.

4.5.6. Análisis de los resultados del modelo actualizado.

Una vez realizados los cambios propuestos en el modelo, se obtiene una nueva simulación, que a continuación se muestra. De la misma manera que con el modelo original, en este punto se analizarán primero los puntos de contraste que existen en las cabeceras de los ríos Júcar y Cabriel, y después los puntos que se encuentran en el tramo medio y la desembocadura del sistema.

4.5.6.1. Punto de contraste del río Júcar en la venta de Juan Romero.

El primer punto de contraste en el sistema es el aforo de la venta de Juan Romero y los datos del análisis en este punto se muestran en la *Figura 66* y en la *Tabla 43*.

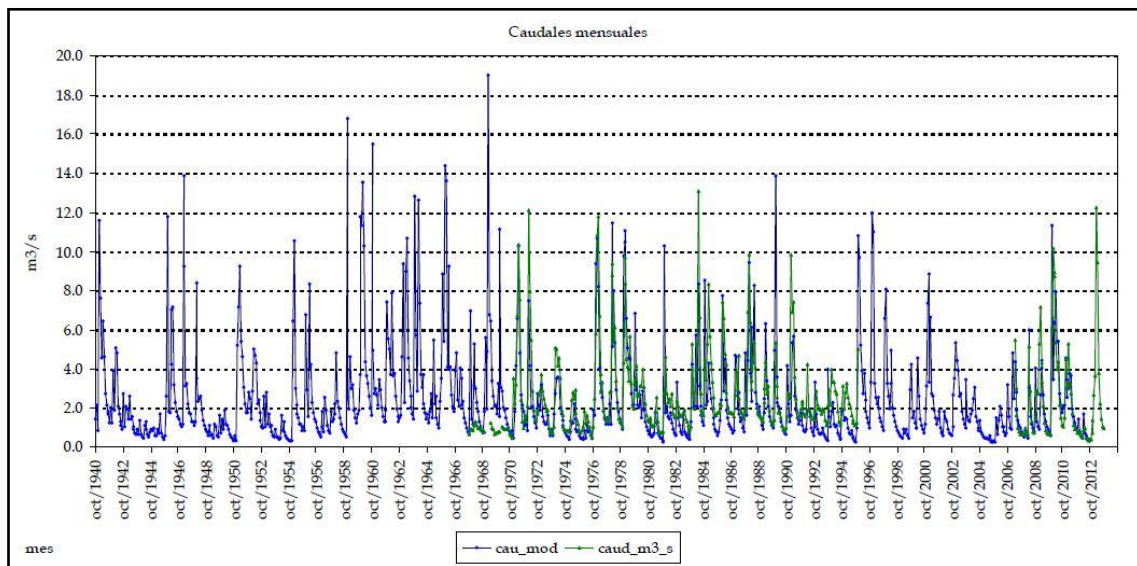


Figura 66. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el aforo de la Venta de Juan Romero.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
V. Juan Romero	Año 40	80.19	40.56	30.35	70.91	57%	-11.57%	0.44
	Año 80	80.31	37.19	28.72	65.91	56%	-17.93%	0.33

Tabla 43. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el Aforo de la Venta de Juan Romero.

Con los cálculos realizados se pueden hacer una serie de observaciones a cerca del funcionamiento del modelo en este punto, y son las siguientes:

- Los caudales observados no cambian según el detalle de los datos tomados, es decir, tanto si se coge la serie histórica de caudales registrados desde el año 40, como si se coge la serie histórica desde el año 80, el caudal observado es el mismo.
- El caudal que proporciona la simulación, depende en un 55% de los recursos hídricos subterráneos, manifestando la importancia de la relación río-acuífero que existe en la zona.

- Por lo que respecta a los estadísticos de control, el BIAS relativo se encuentra en unos valores muy buenos pero indica que el modelo está simulando menor volumen de agua en este punto del que realmente se observa. De la misma manera, el Índice de Nash aunque está contemplado como insatisfactorio, podría ser considerado como satisfactorio dadas las limitaciones de la simulación.

4.5.6.2. Punto de contraste del río Júcar en el embalse La Toba.

Para continuar con los de contrastes a lo largo del río, se analizarán los datos cruzados en este punto de caudales observados y simulados.

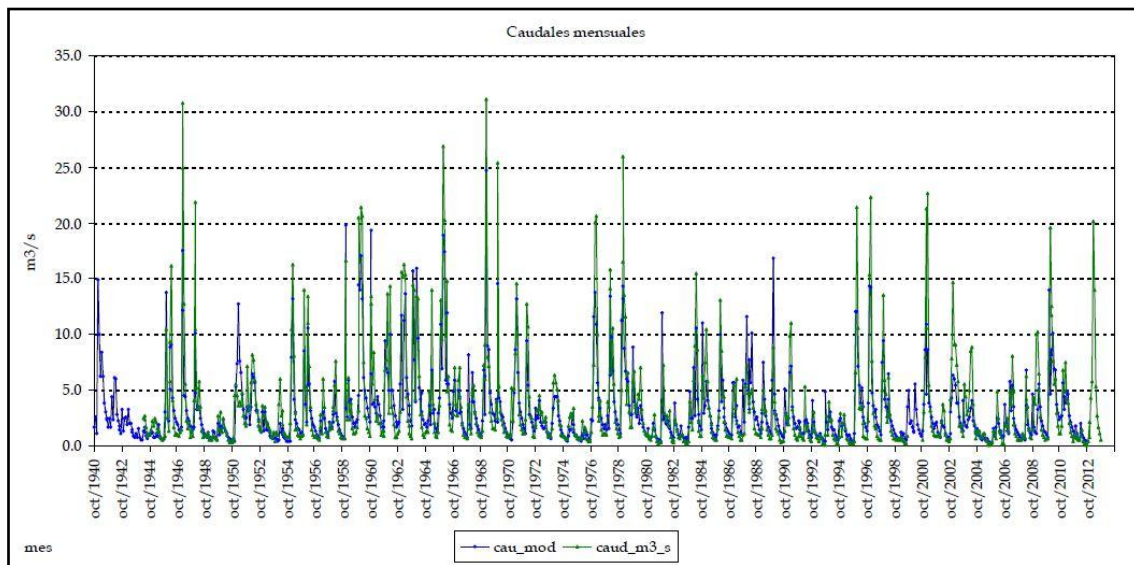


Figura 67. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse La Toba.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse La Toba	Año 40	111.06	59.73	41.26	100.99	59%	-9.07%	0.71
	Año 80	89.50	52.23	33.54	85.77	61%	-4.17%	0.61

Tabla 44. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de la Toba.

En la Figura 67 y la Tabla 44, se muestran la información disponible tras el análisis, y las características en este punto son las siguientes:

- Se produce una reducción de caudales observados según si se observa la serie histórica completa o sólo desde los años 80.
- En este punto, la dependencia del caudal subterráneo crece con respecto al punto simulado aguas arriba, y se sitúa en el 60%. Se puede explicar si las aportaciones superficiales se disminuyen pero la relación río-acuífero continúa siendo ganadora.

- En cuanto al BIAS relativo representa un ajuste muy bueno a pesar de que el modelo realiza una simulación de un 9% menos de agua para la serie histórica completa, y un 4% menos para los datos observados desde el año 80. Además, el Índice de Nash supone un ajuste muy bueno en la forma de la serie simulada a la serie real desde el año 40, y el ajuste empeora aunque sigue siendo bueno si se modeliza desde el año 80.
-

4.5.6.3. Punto de contraste en el río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca.

El siguiente punto de contraste donde se analizan los datos de la simulación y los datos observados es en el aforo del río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca.

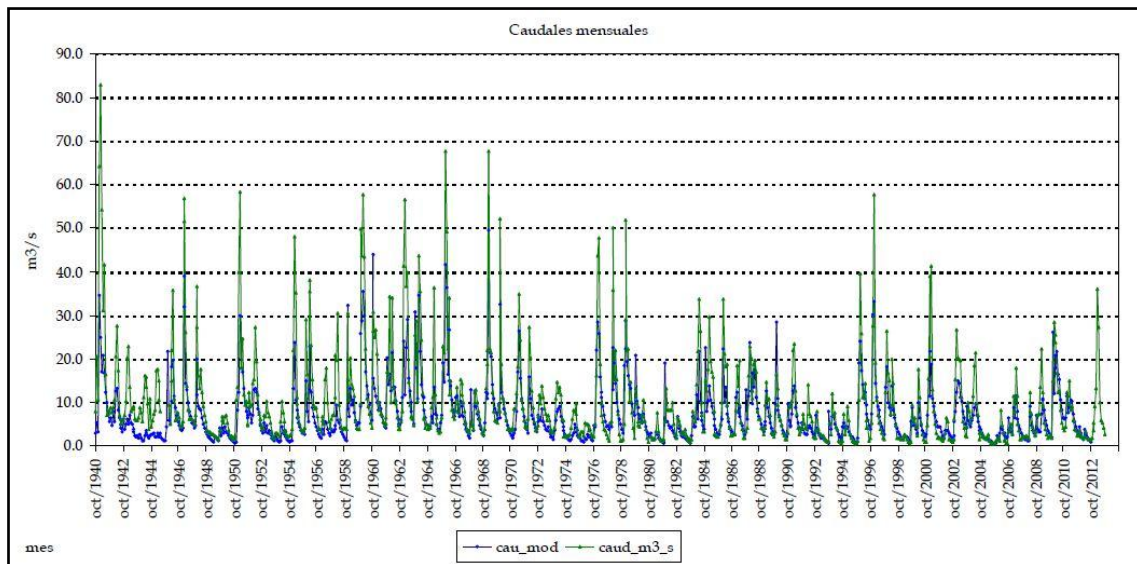


Figura 68. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el aforo de la ciudad de Cuenca.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Cuenca	Año 40	307.71	161.28	64.76	226.04	71%	-26.54%	0.61
	Año 80	227.51	139.68	50.44	190.12	73%	-16.44%	0.67

Tabla 45. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el aforo de la ciudad de Cuenca.

La información que arroja el análisis de estos datos, se muestra en la Figura 68 y en la Tabla 45, y las observaciones que se extraen a partir de ésta es la siguiente:

- La diferencia de caudal observado a través de los años aumenta a medida que el río avanza hacia su desembocadura.
- La proporción de caudal subterráneo modelizado con respecto del total aumenta a medida que el río continúa su curso. Los aportes hídricos subterráneos suponen más del 70% del total, hecho que constata la gran dependencia del acuífero de las Serranías de Cuenca sobre el que se sitúa este tramo de río.
- En lo que respecta a los estadísticos con los que se controla el ajuste del modelo, denotan que la simulación esta modelizando un 26% menos de agua si se tiene en cuenta la serie completa, y un 16% menos si se cogen los datos a partir del año 80.

Esta proporción se considera satisfactoria a pesar de que el modelo es inexacto a la hora de realizar el cálculo del volumen de agua en este punto.

- De la misma manera, el Índice de Nash indica que el modelo se ajusta bien a los datos realmente observados en la forma de la serie. Es preciso señalar que el modelo ajusta mejor para la serie de datos desde el año 80 en comparación con la serie de datos completa desde el año 40.

4.5.5.4. Punto de contraste del río Júcar en el aforo El Castellar.

El cuarto punto en el que contrastar los datos a lo largo de la cabecera del río Júcar es el aforo de El Castellar.

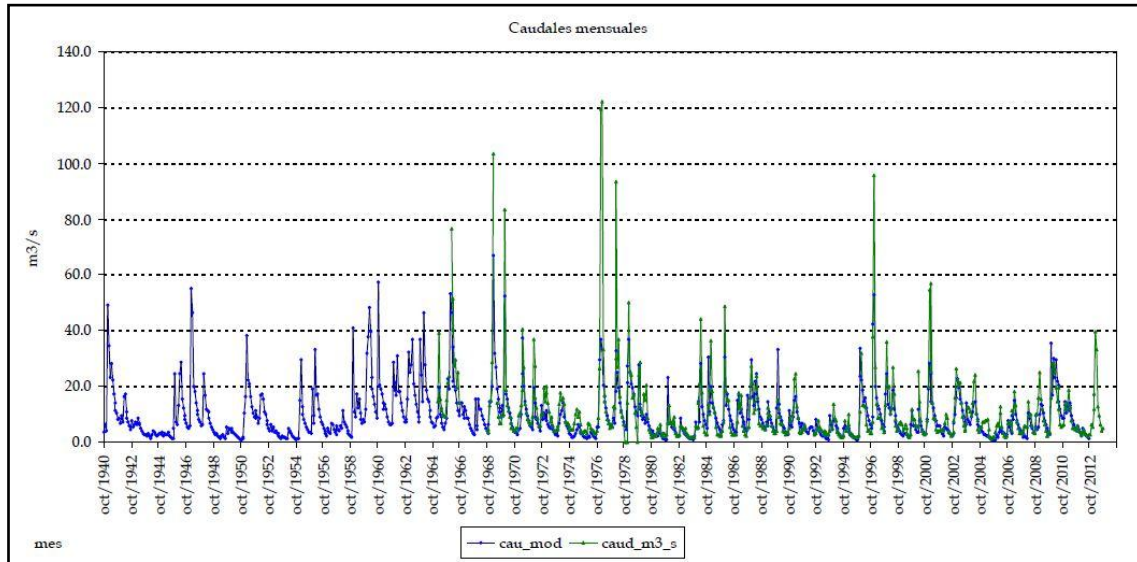


Figura 69. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Júcar en el aforo El Castellar.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
El castellar	Año 40	340.67	208.06	75.50	283.57	73%	-16.76%	0.59
	Año 80	276.20	188.47	63.47	251.94	75%	-8.78%	0.67

Tabla 46. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Júcar en el aforo El Castellar.

El análisis realizado de los datos observados y los datos simulados en este punto -Figura 69 y Tabla 45-, dan como resultado una serie de observaciones que se enumeran a continuación:

- A medida que el cauce avanza, la proporción de agua subterránea que incorpora a su caudal aumenta, siendo en este punto de un 75% del total del recurso hídrico total modelizado. Este hecho indica que a medida que el río avanza las aportaciones superficiales son menores.
- El porcentaje de sesgo del modelo con respecto al observado denota que se está simulando un 16% menos de agua si se tiene en cuenta la serie completa, y tan solo un 8% menos si el cálculo se realiza con los datos desde el año 80. Ambos resultados implican un ajuste bueno del modelo a los datos realmente observados.

- El Índice de Nash, del mismo modo que el BIAS, supone un ajuste bueno en la forma de la serie simulada respecto de la serie observada. Al realizarse las simulaciones desde el año 80 suponen una mejora en ambos estadísticos si se comparan con las simulaciones realizadas con la serie de caudales completa desde el año 40.

4.5.5.5. Punto de contraste de las entradas embalse de Alarcón.

El último punto de contraste en el que realizar el análisis se encuentra situado en la cabecera del río Júcar y es uno de los embalses más importantes del sistema.

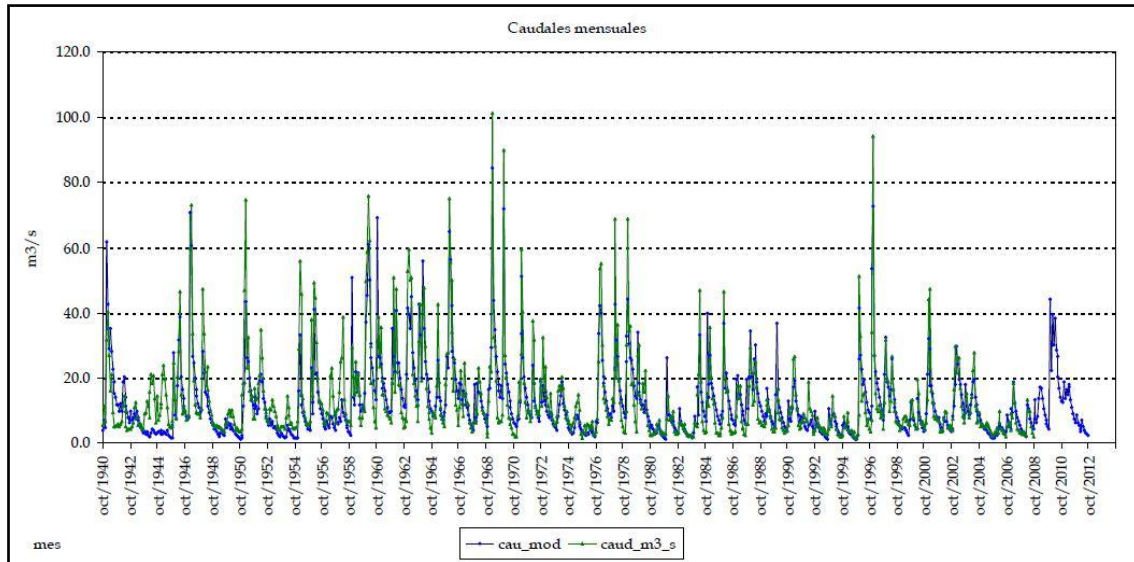


Figura 70. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Alarcón.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse de Alarcón	Año 40	406.32	292.40	97.66	390.06	75%	-4.00%	0.72
	Año 80	287.25	239.79	70.86	310.65	77%	8.15%	0.73

Tabla 47. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Alarcón.

A continuación se realizan las observaciones que los datos de la Figura 70 y la Tabla 47 permiten realizar sobre este punto:

- Como ya se ha constatado a lo largo de la cabecera, el porcentaje de caudal subterráneo simulado sigue aumentando, hasta encontrarse en más del 75% del recurso hídrico total medido en este punto.
- En lo que respecta a los estadísticos de control, el BIAS relativo muestra un ajuste muy bueno, aunque simula menor volumen de agua que el observado realmente si el cálculo se realiza desde el año 40, y por el contrario, si el cálculo se realiza desde el año 80, el volumen de agua simulado es mayor que el observado.
- Además, completando el resultado del BIAS, el Índice de Nash indica un ajuste muy bueno de la forma de la serie modelizada y la forma de la serie observada.

Para continuar analizando la cabecera del sistema, se procederá a estudiar el río Cabriel desde su nacimiento hasta su llegada al embalse de Contreras.

4.5.5.6. Punto de contraste del río Cabriel en el aforo Villora (1).

El primer punto de contraste en la cabecera del río Cabriel es el que se encuentra en el aforo Villora. Con los datos recogidos por esta estación y los datos modelizados, se procede a realizar un análisis de este punto.

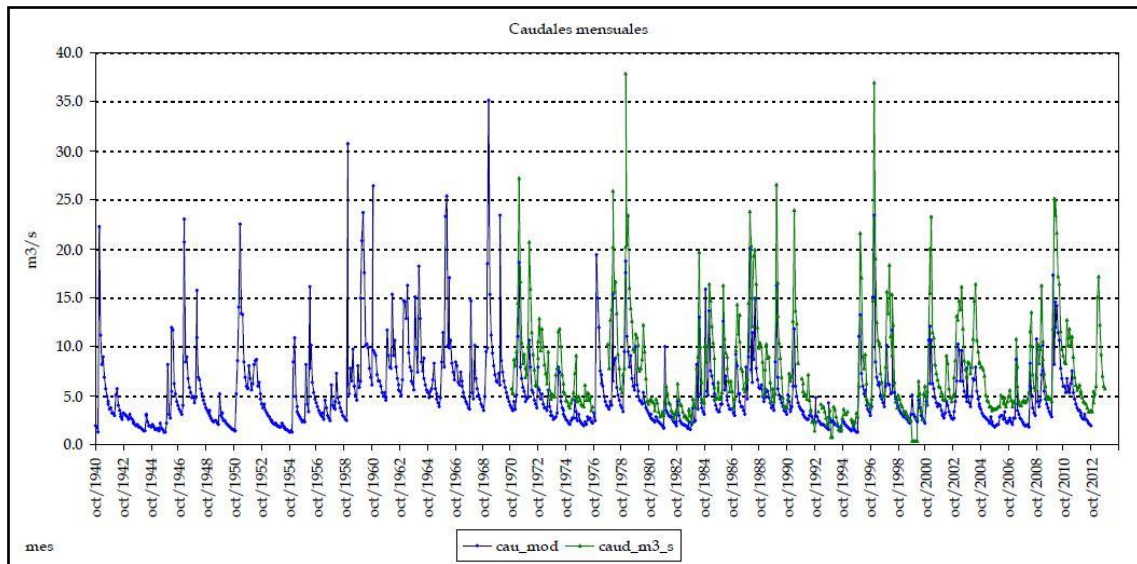


Figura 71. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Cabriel en aforo Villora.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Villora (1)	Año 40	242.25	119.45	29.81	149.26	80%	-38.39%	0.34
	Año 80	228.63	116.67	29.00	145.67	80%	-36.29%	0.40

Tabla 48. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Cabriel en aforo Villora.

En la Figura 71 y en la Tabla 48 se pueden ver los resultados obtenidos en el modelo y el análisis realizado, y de estos se extraen las siguientes observaciones:

- El caudal subterráneo de la simulación supone un 80% del caudal total calculado.
- El BIAS relativo indica un subestimación del caudal simulado, es decir, se modeliza un 38% menos de agua en este punto. Podría relacionarse con el alto porcentaje del caudal subterráneo, ya que el modelo no está simulando las suficientes aportaciones superficiales.
- El Índice de Nash que da como resultado el análisis de éste punto es insatisfactorio y este hecho indica que las series modelizadas y observadas no se parecen.

4.5.5.7. Punto de contraste del río Martín en el aforo Villora (2).

El siguiente punto en la Cabecera del río Gabriel se encuentra en uno de sus afluentes, el río Martín en el aforo Villora. Se trata de un afluente de poca envergadura que desemboca directamente en el embalse de Contreras.

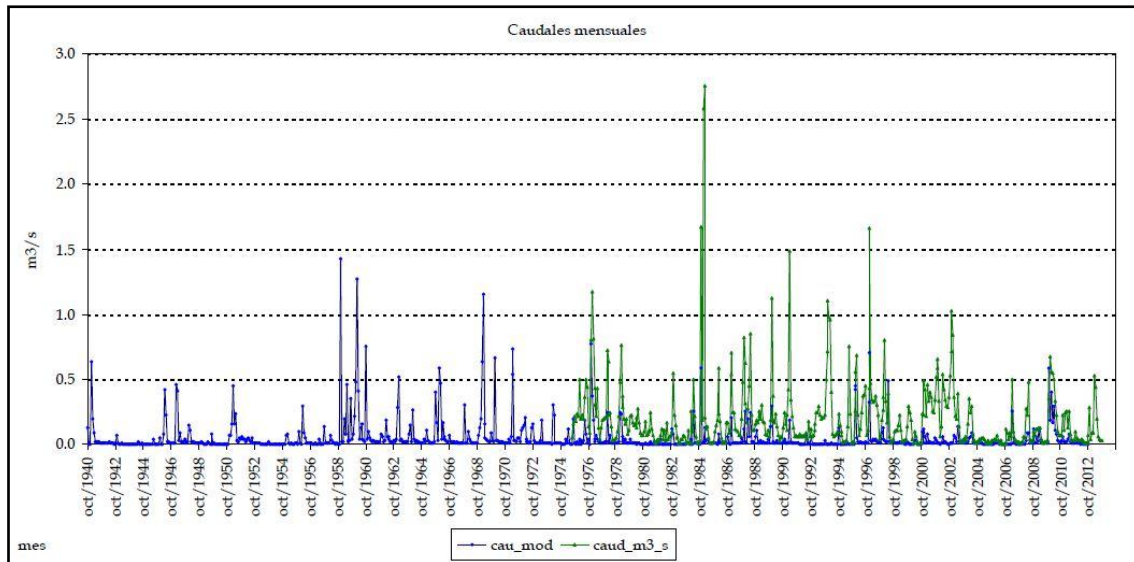


Figura 72. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Martín en aforo Villora.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Villora (2)	Año 40	6.49	0.30	0.85	1.16	26%	-82.17%	-0.16
	Año 80	6.22	0.29	0.77	1.06	27%	-82.94%	-0.15

Tabla 49. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Martín en el aforo Villora.

Tras realizar el análisis -Figura 72 y Tabla 49- en este punto del sistema, las singularidades que en él se observan son las siguientes:

- Los volúmenes de agua medidos en este cauce son significativamente menores que en los demás afluentes, por tanto no representa una relevancia importante para el balance.
- Los estadísticos de control, es decir, el BIAS y el Índice de Nash son totalmente insatisfactorios, representando entre un 82% y un 90% menos de agua en la simulación que en la realidad. Además la forma de las series modelizadas no se ajusta a la serie observada.

4.5.5.8. Punto de contraste del río Ojos de Moya en Camporrobles.

El tercer punto que conforma la cabecera del río Cabriel se encuentra en otro de sus afluentes, el río Ojos de Moya en Camporrobles. Se trata de un afluente de mayor envergadura que el comentado anteriormente, con un tramo de relación río-acuífero ganador y algunos manantiales en su cauce.

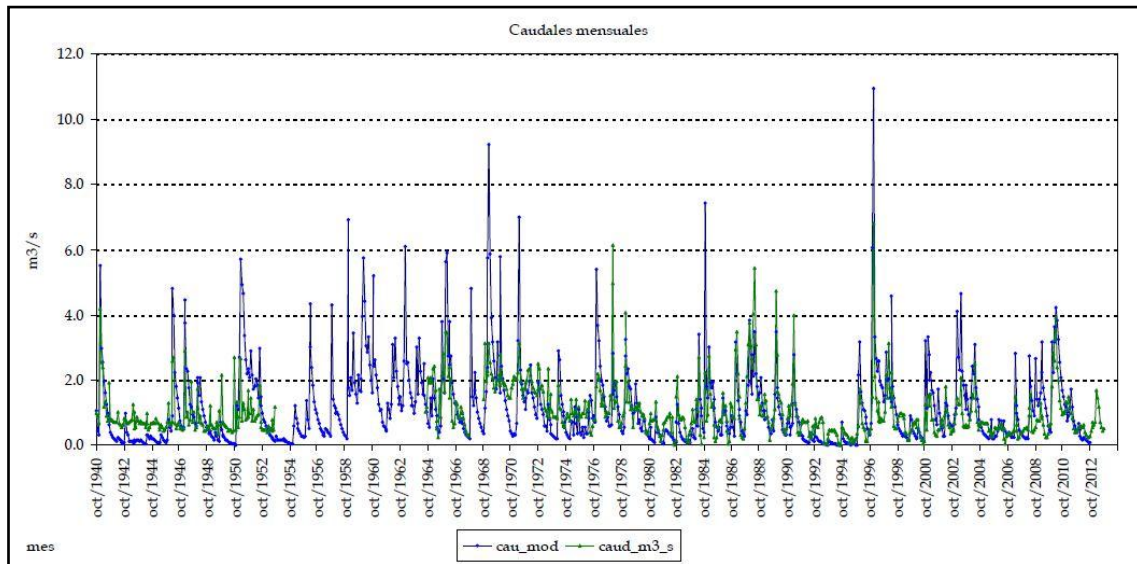


Figura 73. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el río Ojos en Camporrobles.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Camporrobles	Año 40	32.29	25.95	8.63	34.58	75%	7.09%	-0.22
	Año 80	27.61	23.30	7.92	31.22	75%	13.07%	0.09

Tabla 50. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el río Ojos de Moya en Camporrobles.

Tras hacer el análisis -Figura 73 y Tabla 50- de los datos en este punto, es posible realizar una serie de observaciones que se enumeran a continuación:

- El caudal subterráneo modelado supone un 75% del total de los aportes hídricos en este punto.
- Por lo que respecta al BIAS relativo, los valores indican un ajuste muy bueno ya que solo simula un volumen de agua entre un 7% y un 13% mayor del realmente observado, según si la serie de datos se calcula completa o desde el año 80.
- Por otro lado, el Índice de Nash señala que la serie histórica modelizada no es capaz de reproducir verazmente la forma de la serie observada.

4.5.5.9. Punto de contraste de las entradas al embalse de Contreras.

El último punto de la cabecera del sistema y del río Cabriel se encuentra en el embalse de Contreras.

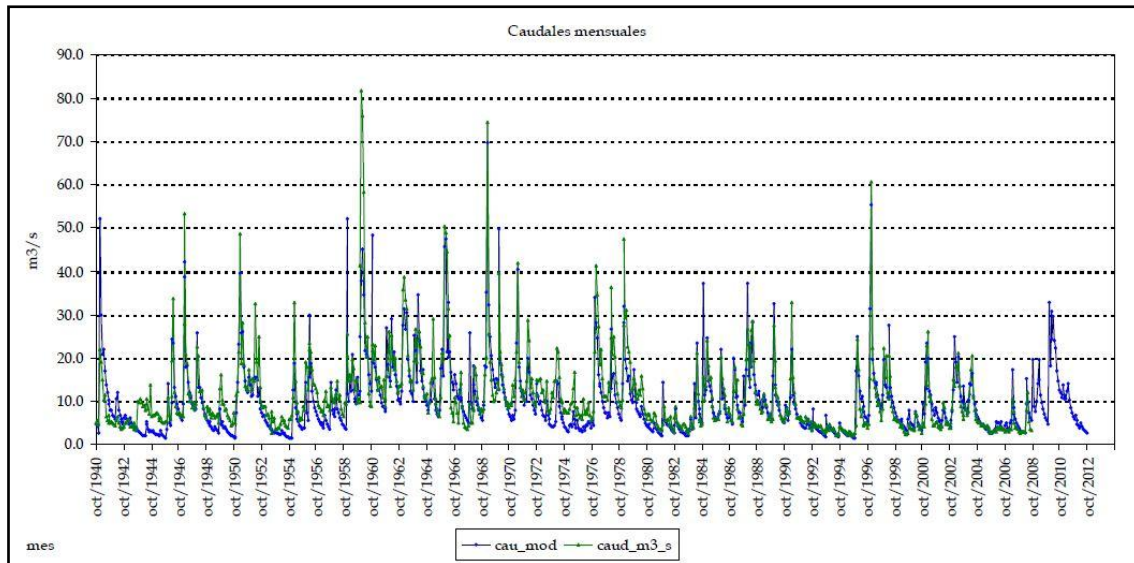


Figura 74. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Contreras.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Contreras	Año 40	346.17	239.40	72.15	311.55	77%	-10.00%	0.68
	Año 80	242.28	201.62	53.64	255.26	79%	5.36%	0.76

Tabla 51. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Contreras.

El análisis realizado a partir de los datos observados y modelizados en este punto se puede encontrar en la Figura 74 y la Tabla 51, y permite caracterizar este punto de la siguiente manera:

- Los aportes hídricos subterráneos suponen más del 77% del volumen de agua simulado en este punto.
- Los estadísticos de control denotan un ajuste muy bueno del modelo con respecto a la realidad, mejorando incluso si el análisis se realiza únicamente con los datos desde el año 80.

Para continuar con el análisis, solo se estudiarán los mismos puntos que en el modelo original se estudiaron y que tienen la característica de tener la serie restituida a régimen natural.

4.5.5.10. Punto de contraste en el embalse de El Molinar.

Este embalse se encuentra en el río Júcar aguas arriba de la confluencia con el río Cabriel, y registra los datos de entradas al embalse, aunque en este caso la serie de datos está restituida a régimen natural.

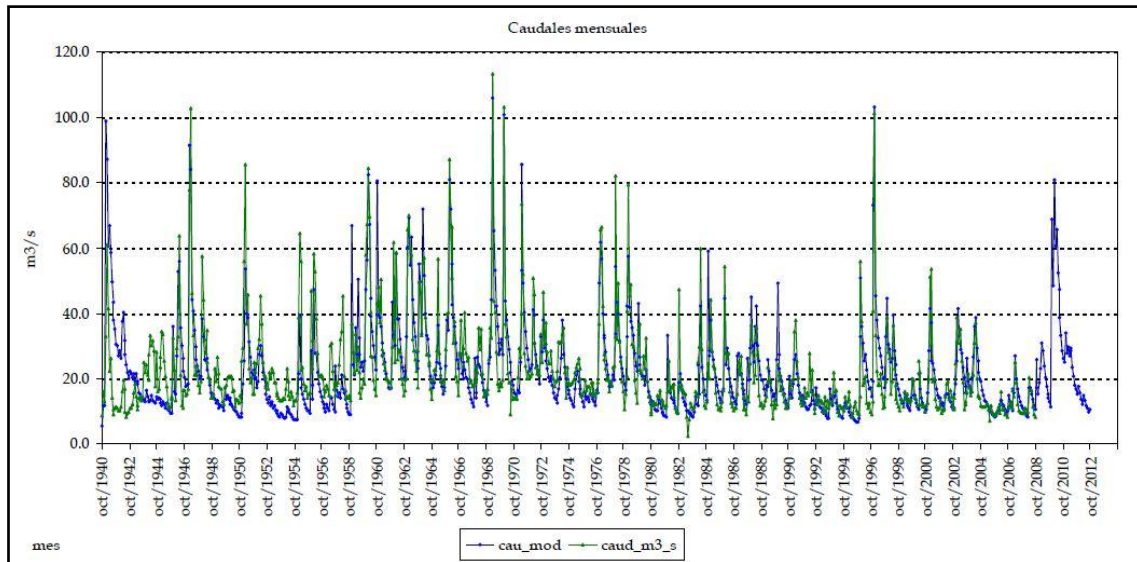


Figura 75. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de El Molinar.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse El Molinar	Año 40	697.94	590.60	109.62	700.23	84%	0.33%	0.59
	Año 80	526.27	488.46	77.59	566.06	86%	7.56%	0.60

Tabla 52. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de El Molinar.

Con los datos observados en este punto y los datos de la simulación del PATRICAL, es posible realizar un análisis, cuyos resultados se muestran en la Figura 75 y en la Tabla 52. Con dichos resultados se pueden realizar las siguientes observaciones del comportamiento del modelo en esta masa de agua:

- El caudal subterráneo supone un 85% de los aportes hídricos totales calculados en este punto, hecho que manifiesta una gran dependencia de los acuíferos.
- Los estadísticos de ajuste del modelo muestran que la simulación es muy buena ya que el BIAS relativo indica que el volumen de agua calculado en este punto es mayor que el realmente observado, pero la diferencia es ínfima. Además, el Índice de Nash pone de manifiesto que la forma de la serie simulada y la serie observada se ajustan bien.

4.5.5.11. Punto de contraste en el embalse de Tous (Serie restituida).

De la misma manera que con el modelo original se toma un punto de contraste en el embalse de Tous, aguas abajo de la confluencia del río Júcar con el río Cabriel. Se trata del primer punto en el tramo final del río Júcar, en el Sur-Este del sistema.

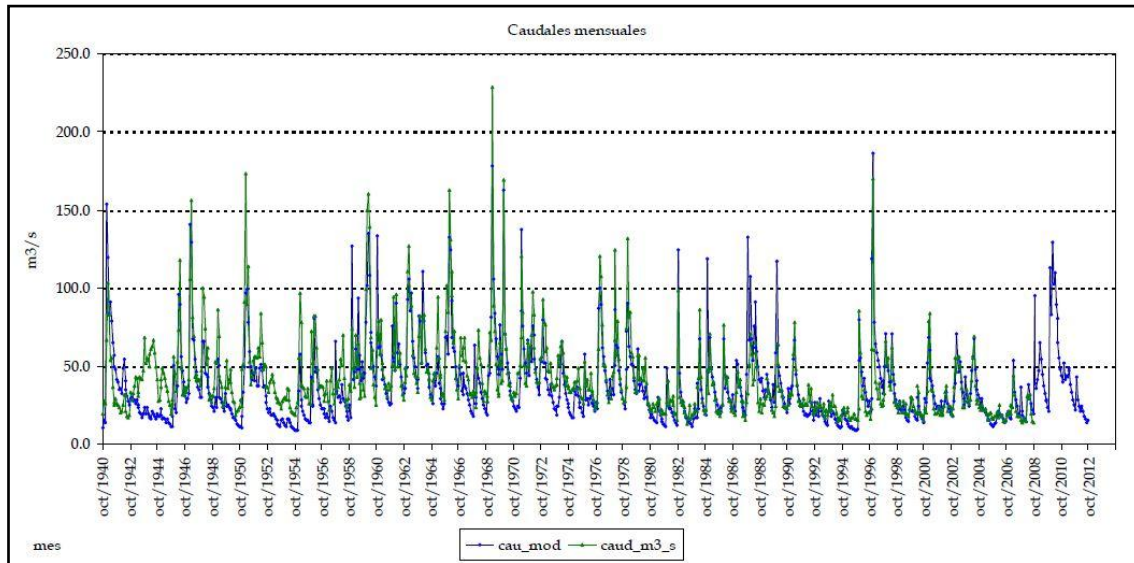


Figura 76. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Tous.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse de Tous	Año 40	1294.19	953.29	218.26	1171.55	81%	-9.48%	0.58
	Año 80	922.65	815.75	173.84	989.59	82%	7.25%	0.45

Tabla 53. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Tous.

El análisis realizado en este punto con los datos disponibles que se encuentran en la Figura 76 y en la Tabla 53, arroja las siguientes observaciones:

- El caudal subterráneo simulado supone más del 80% del aporte hídrico total.
- El BIAS muestra que existe una horquilla en la que el modelo oscila, simulando menor volumen de agua que el observado si el cálculo se realiza con la serie completa desde el año 40, y si la modelización es con los datos desde el año 80 se calcula un volumen de agua mayor al observado. A pesar de esta situación ambos valores se encuentran dentro de los considerados como un ajuste muy bueno.
- Además, el Índice de Nash, que compara la forma de las series de caudales simuladas y observadas, indica que estos ajustan bien, aunque para el cálculo realizado con las series desde el año 80, la bondad del ajuste disminuye con respecto al cálculo realizado con la serie completa.

4.5.5.12. Punto de contraste en el Azud de Sueca (Serie restituida).

Al igual que ocurría con los puntos de contraste del modelo original, el Azud de Sueca es el último punto del sistema en el que se pueden contrastar los datos.

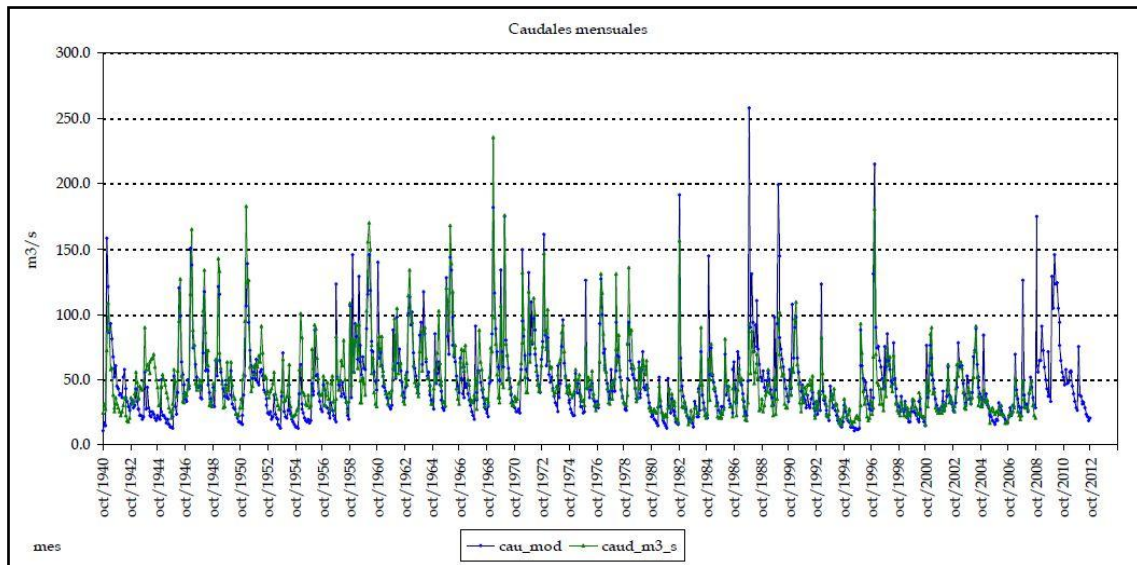


Figura 77. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado del río Júcar en el Azud de Sueca.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Azud de Sueca	Año 40	1520.31	1177.67	318.17	1495.84	79%	-1.61%	0.57
	Año 80	1172.16	1052.44	282.43	1334.87	79%	13.88%	0.19

Tabla 54. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Júcar en el Azud de Sueca.

La Figura 77 y la Tabla 54 muestran el análisis realizado en este punto de los datos observados con los datos simulados por el modelo PATRICAL, y las observaciones que se extraen a partir de él son las siguientes:

- La dependencia del caudal subterráneo en este cauce se mantiene con respecto a los puntos anteriores y se sitúa en el 79% del caudal total simulado.
- Si el cálculo se realiza desde el año 80, los caudales observados suponen una reducción con respecto de los caudales observados desde el año 40. Este hecho implica que las aportaciones a este punto han disminuido en los últimos años.
- Los estadísticos de control, es decir, el BIAS y el Índice de Nash, muestran que para la simulación realizada desde el año 40 se produce un ajuste de la serie modelizada con la serie observada muy bueno.
- De la misma manera, cuando se toman los datos desde el año 80, el Índice de Nash indica que la forma del modelo no ajusta a la serie observada, y por tanto es insatisfactorio este ajuste. Por otro lado, el BIAS relativo indica que el modelo simula un 13% más de caudal en este punto que el realmente observado, aunque es un ajuste que se encuentra dentro de los valores aceptables.

4.5.6. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.

A continuación se expondrán las conclusiones del análisis realizado en el sistema, contrastando los resultados del modelo original y el modelo actualizado en cada tramo en los que anteriormente se ha dividido el río.

4.5.6.1. Cabecera del sistema.

4.5.6.1.1. Cabecera del río Júcar.

La *Tabla 55* es un resumen en el que se muestran los resultados de los análisis de ambos modelos y en la que están basadas las siguientes conclusiones:

1. Existe un punto, el aforo de El Castellar, en el cual se produce un empeoramiento del ajuste con respecto al modelo original.
2. El ajuste en los parámetros de calibración, H_{\max} e I_{\max} y alpha (α), propuestos tras el análisis del modelo original ha producido una mejora general -excepto El Castellar- en los volúmenes simulados y la forma de las series, siendo un ajuste bueno durante todo el tramo de río.

Por tanto, con este contraste se puede concluir que la simulación que mejor ajusta es la que proporciona el modelo actualizado.

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q_{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q_{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Venta Juan Romero	Año 40	80.80	64.65	-19.98%	0.40	70.91	-11.57%	0.44
	Año 80	80.84	52.45	-35.12%	0.15	65.91	-17.93%	0.33
Embalse La Toba	Año 40	113.15	117.24	3.61%	0.72	100.99	-9.07%	0.71
	Año 80	85.94	96.07	11.79%	0.60	85.77	-4.17%	0.61
Cuenca	Año 40	298.49	233.48	-21.78%	0.68	226.04	-26.54%	0.61
	Año 80	225.49	184.65	-18.11%	0.66	190.12	-16.44%	0.67
El castellar	Año 40	348.69	326.04	-6.50%	0.67	283.57	-16.76%	0.59
	Año 80	271.54	254.23	-6.37%	0.67	251.94	-8.78%	0.67
Embalse Alarcón	Año 40	406.32	462.24	13.76%	0.62	390.06	-4.00%	0.72
	Año 80	287.25	366.30	27.52%	0.57	310.65	8.15%	0.73

Tabla 55. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en la cabecera del río Júcar.

4.5.6.1.2. Cabecera del río Cabriel.

El siguiente tramo estudiado en la cabecera del sistema es el río Cabriel hasta el embalse de Contreras. En la *Tabla 56*, se observa el contraste entre ambos modelos y las características que se deducen de él son las siguientes:

1. El embalse de Contreras, el punto de contraste más importante en este tramo, supone una mejor modelización con los cambios implementados en la infiltración, la capacidad de almacenamiento, y el factor α . Estos cambios constituyen una mejora sustancial en cuanto al ajuste de la forma de la serie simulada y la observada, aunque un ligero empeoramiento en el volumen simulado con el modelo actualizado.
2. El resto de puntos de contraste que se encuentran en este tramo analizado, evidencian una disminución tanto en los factores de forma como en los caudales simulados.

Una vez estudiadas estas características se concluye que el sistema en este punto se comporta y se corresponde mejor con la realidad con la modelización actualizada.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Villora (1)	Año 40	242.52	185.77	-23.40%	0.40	149.26	-38.39%	0.34
	Año 80	225.65	150.09	-33.48%	0.39	145.67	-36.29%	0.40
Villora (2)	Año 40	6.80	1.18	-82.60%	-0.21	1.16	-82.17%	-0.16
	Año 80	6.54	0.66	-89.88%	-0.18	1.06	-82.94%	-0.15
Camporrobles	Año 40	32.34	42.92	32.69%	-0.45	34.58	7.09%	-0.22
	Año 80	28.65	35.28	23.11%	0.44	31.22	13.07%	0.09
Contreras	Año 40	346.17	345.49	-0.20%	0.56	311.55	-10.00%	0.68
	Año 80	242.28	275.30	13.63%	0.59	255.26	5.36%	0.76

Tabla 56. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en la cabecera del río Cabriel.

4.5.6.2. Tramo medio del río Júcar.

El embalse de El Molinar es el único punto de contraste que existe en el tramo medio del río Júcar, y los datos contrastados que se observan en la *Tabla 57*, dan lugar a las siguientes conclusiones:

1. Los cambios introducidos en el modelo actualizado suponen una mejora significativa respecto del modelo original.

Por tanto, la versión del modelo actualizado representa el comportamiento del sistema fielmente en el tramo medio del río Júcar.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Embalse El Molinar	Año 40	697.94	802.86	15.03%	0.34	700.23	0.33%	0.59
	Año 80	526.27	679.99	29.21%	0.07	566.06	7.56%	0.60

Tabla 57. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en el tramo medio del río Júcar.

4.5.6.3. Desembocadura del río Júcar.

Con el contraste realizado entre el modelo original y el modelo actualizado -Tabla 58- se concluye que, con los cambios introducidos en la actualización del modelo, los puntos analizados en el tramo de desembocadura del sistema representan con un mayor ajuste los caudales y las formas de las series de datos. Por tanto, el segundo modelo supone una mejora con respecto a la primera versión analizada.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Embalse de Tous	Año 40	1294.19	1366.52	5.59%	0.34	1171.55	-9.48%	0.58
	Año 80	922.65	1171.48	26.97%	-0.41	989.59	7.25%	0.45
Azud de Sueca	Año 40	1520.31	1759.61	15.74%	-0.02	1495.84	-1.61%	0.57
	Año 80	1172.16	1569.41	33.89%	-1.28	1334.87	13.88%	0.19

Tabla 58. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en la desembocadura del río Júcar.

4.6. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN SERPIS.

AUTOR: ADRIÁN VELARDE RODRÍGUEZ

4.6.1. Descripción del sistema.

El sistema de explotación Serpis comprende las cuencas tanto del río Serpis, la de mayor envergadura, como la del río Jaraco y el río Beniopa y las demandas que se atienden desde ellas. La superficie total comprendida por este sistema es de 945 km².

En toda la superficie que ocupa la cuenca del río Serpis únicamente existe una infraestructura hidráulica, el embalse de Beniarrés.

- El embalse de Beniarrés, es una presa de tipo gravedad cuyo uso es el riego, aunque también tiene usos lúdicos como la pesca y la navegación. Está situado en el río Serpis y tiene una capacidad máxima de 26.49 Hm³.



Imagen 27. Embalse de Beniarrés.

Por lo que respecta a las masas superficiales de agua, las más importantes, son los ríos: Serpis, Bernisa, Vallaseta, Jaraco, Beniopa.

- El río Serpis, con 74,5 km de longitud, nace en la Sierra de Biscoy. Su cauce lleva agua tan sólo en época lluviosa, hasta las proximidades de Alcoy, donde se le une por la margen izquierda el río Barchell, de corriente continua, que recoge agua del acuífero de la Sierra de Mariola. A su paso por Cocentaina, recoge las aguas del río Vallaseta por la margen derecha y llega al embalse de Beniarrés. A partir de Lorcha el río avanza hasta Villalonga, a lo largo de este tramo el cauce es ganador drenando el acuífero Almirante-Mustalla. En Real de Gandía, y por la margen izquierda, recibe las aguas del río Bernisa. La desembocadura del río Serpis tiene lugar junto al Grao de Gandía, aunque se produce una reinfiltración de los recursos al acuífero de la Plana de Gandía en todo el tramo de desembocadura.



Imagen 28. Río Serpis en su desembocadura.

- El río Vallaseta, con una longitud de 20.9 km, y una superficie de cuenca que ocupa 142 km². Este río recoge las escorrentías superficiales de parte de las sierras de Serrella, Alfaro y Almudaina. Durante el estío permanece seco, al no recoger ninguna escorrentía subterránea.
- El río Bernissa, con 28.6 km de longitud, se inicia al norte del municipio de Pinet, en Sierra Grossa. Este río es el afluente más importante del Serpis por su longitud aunque en su cauce no exista ningún tramo con relación río-acuífero ni ningún manantial. Confluye con el río Serpis a la altura de Real de Gandía.
- El río Jaraco, tiene una longitud de 13.6 km, y su cuenca ocupa una superficie de 97.4 km². Nace en la Fuente de Simat de la Valldigna, es decir, nace a partir de manantiales. Sus aguas son utilizadas para el riego de la Valldigna y es en gran parte un río perdedor, infiltrando recursos a los acuíferos de Bárig y la Plana de Jaraco.
- El río Beniopa, tiene un recorrido de 12 km de longitud y una superficie de cuenca que ocupa 49.5 km². Este río no suele llevar agua en su parte alta y media, y ya en su tramo final recoge agua de regadíos y parte de la Marjal de la Safor, produciéndose la infiltración de recursos al acuífero de la plana de Gandía.

Por último, dentro de este sistema se encuentran 19 masas de agua subterránea, no necesariamente de manera exclusiva, de las cuales las más importantes son:

- Almirante-Mustalla, con una superficie de 205.54 km², se sitúa entre las provincias de Valencia y Alicante. La recarga del sistema procede de la infiltración de agua del río Serpis en el embalse de Beniarrés y transferencias laterales de otros acuíferos.
- La Plana de Gandía, se extiende desde Tavernes de Valldigna hasta Denia, con una superficie de 56.73 km². Recibe una importante recarga por transferencia lateral y una infiltración vertical procedente de las lluvias y los ríos Jaraco, y Serpis. La descarga se efectúa mediante bombeos.
- Barrancones - Carrasqueta, con una superficie de 263.79 km², se extiende desde Tibi hasta Cocentaina. La alimentación procede de infiltración de agua de lluvia y las salidas se producen por diversos manantiales y extracciones por bombeos.

4.6.2.2. Relación Río-Acuífero.

En la *Figura 79* se muestra la relación que hay entre las masas de agua superficial y subterránea, indicando en qué tramos el cauce es ganador y qué tramos es perdedor.

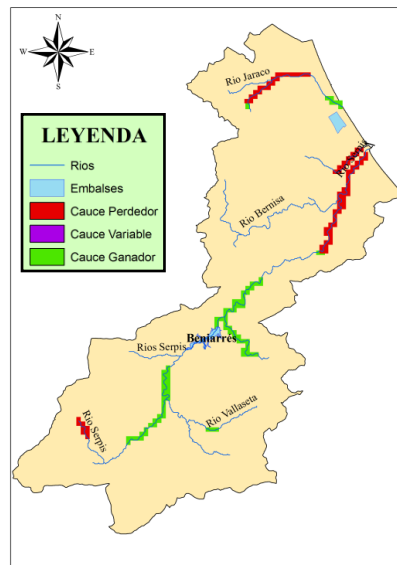


Figura 79. Relación Río-Acuífero del sistema de explotación Serpis.

Los tramos de cauce ganadores se observan en la parte alta y media del curso del río Serpis principalmente en el embalse de Beniarrés, mientras que los tramos de cauce perdedores se encuentran en la zona de desembocadura del río Serpis y el río Beniopa coincidentes con el acuífero de la Plana de Gandía.

4.6.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Con los datos que ya se conocen a cerca del sistema, e intersectándolos entre sí se puede obtener un mapa -*Figura 80.a y 80.b*- en el que se muestra la relación de las masas de aguas subterránea con el río y por qué zonas del sistema se producirán las descargas de agua.

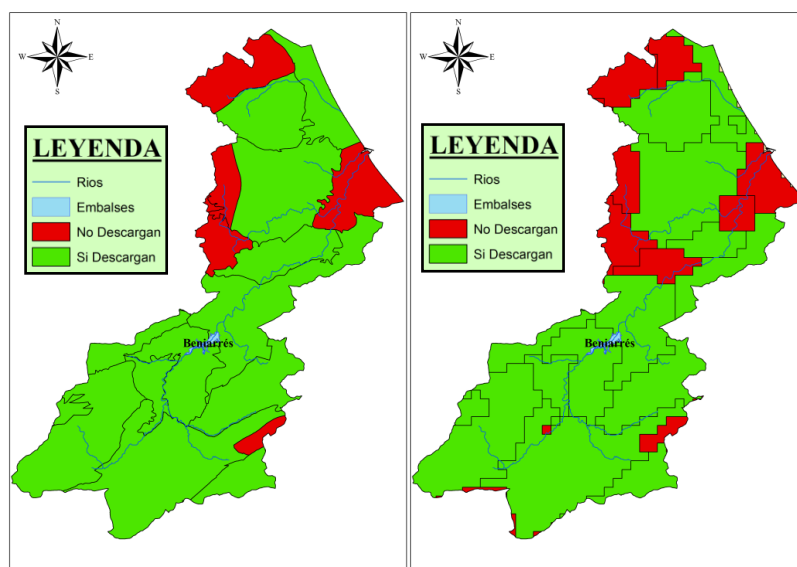


Figura 80. a) Masas de agua subterránea y b) Sectores del sistema de explotación Serpis.

Como se observa en la *Figura 80.a*, la mayor parte del sistema tiene algún punto de descarga de agua a la superficie, aunque en rojo se muestran los acuíferos compartidos con el sistema Júcar de Sierra de las Agujas, Sierra Grossa, y Valle de Albaida que no surgen a la superficie. También se encuentran los acuíferos compartidos con los sistemas de la Marina Alta y la Marina Baja, la Plana de Gandía y Serrella-Aixorta-Algar, a través de los cuales tampoco surge el recurso al sistema de explotación Serpis.

Al poner la atención sobre la *Figura 80.b*, se indica qué sectores del sistema de acuíferos tiene relación con el río. Como ya se ha analizado, se observa que la Plana de Gandía no descarga a la superficie y que aprovecha la desembocadura de los ríos Serpis y Beniopa para su recarga.

4.6.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el Plan Hidrológico del Júcar (PHJ) se definen las masas de agua superficial que existen en la confederación, y se representan como puntos de desagüe de éstas masas. En las *Figuras 81.a y 81.b* se pueden ver representados los puntos de masas de agua que define el PHJ para el sistema Serpis.

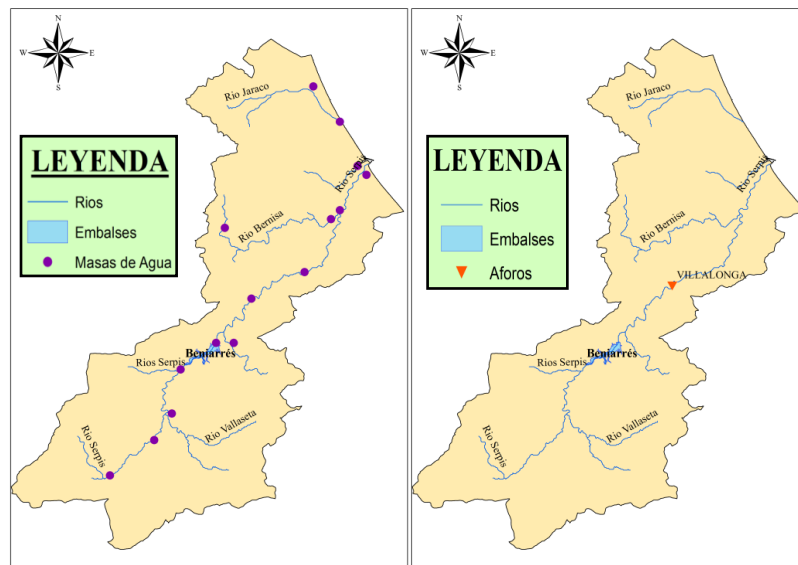


Figura 81. a) Masas de agua superficial y b) aforos del sistema Serpis.

En cada masa de agua -*Figura 81.a*-, el modelo PATRICAL simula los recursos hídricos disponibles dando como resultado los caudales que circulan por las masas de agua superficiales. Al tratarse estos caudales de una modelización del sistema, se deben contrastar con caudales realmente observados para saber si el modelo se ajusta a la realidad.

Para realizar estos contrastes se usan las estaciones de aforos que se definen en el PHJ, que miden los caudales reales de las masas de agua en las que están instalados. En la

Figura 81.b se muestra la localización del único aforo del sistema Serpis teniendo en cuenta que los embalses también realizan la tarea de medir el caudal que pasa por ellos.

Una vez mostrada esta información, se observa que existen dos posibles puntos dónde realizar el contraste, el embalse de Beniarrés y el aforo de Villalonga. Dado que el aforo de Villalonga se encuentra aguas abajo del embalse, donde se produce una importante modificación del caudal del río, y la serie registrada en él no está restituida a régimen natural, en este sistema únicamente se puede contrastar un punto y es el embalse de Beniarrés.

4.6.4. Análisis de los resultados del modelo original.

El análisis se realizara en el único punto en que se puede contrastar el modelo, el embalse de Beniarrés.

4.6.4.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Beniarrés.

Puesto que en los embalses se puede conocer el caudal de entrada, se dispone de información para intersecarla con el modelo, y se muestra a continuación:

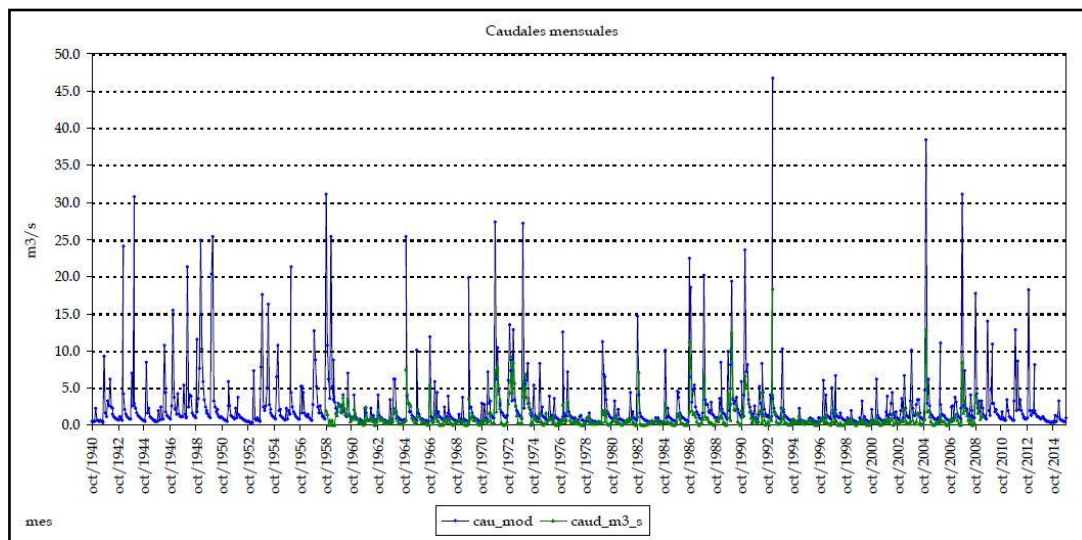


Figura 82. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el embalse de Beniarrés.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse de Beniarrés	Año 40	31.02	37.06	45.33	82.39	45%	165.58%	-3.81
	Año 80	28.93	35.38	40.93	76.30	46%	163.76%	-2.80

Tabla 59. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Beniarrés.

Con el análisis de la información que se representa en la *Figura 82* y en la *Tabla 59*, se extraen las siguientes observaciones:

- El caudal simulado depende en un 45% de las masas de agua subterránea y la descarga que éstas proporcionan al río.
- Se produce un decremento de los caudales según la época desde la cual se observen los datos. Puede explicarse esta situación por la disminución de la precipitación desde los años 80.
- En lo que respecta a los estadísticos del modelo, la simulación recrea un volumen 165% mayor que el recurso que realmente se observa. Además si observa el Índice de Nash, indica que la forma que toma la simulación no se parece en nada a la forma que toman los datos observados. Estos dos indicadores dejan claro que el ajuste es totalmente insatisfactorio para este punto.

Por tanto, se puede concluir que el modelo no representa fielmente la realidad. Este hecho puede ser sinónimo de que el modelo está construido para el análisis de cuencas hidrográficas medias y grandes.

4.6.5. Conclusiones del análisis del modelo original.

La conclusión general de los resultados que arroja el modelo actual para el sistema de explotación Serpis, es que es necesaria una mejora en los parámetros de calibración.

Los parámetros que se proponen mejorar para que el modelo simule con mayor precisión los volúmenes en cada punto son: H_{max} , que es la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo y la I_{max} , que es la capacidad de infiltración máxima.

Por otro lado, se propone la mejora del parámetro alpha (α) de Témez, lo que produce que la forma de los datos simulados cambie y se ajuste mejor a la realidad.

Por último, el cambio más significativo que se introduce en el modelo es el cambio de mapa básico geológico por un mapa litoestratigráfico, que incluye mayor nivel de detalle por sus singularidades hidrogeológicas entre otras.

4.6.4. Análisis de los resultados del modelo actualizado.

4.6.4.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Beniarrés.

El único punto del modelo donde contrastar los datos es el embalse de Beniarrés y por tanto, el nuevo modelo se simula en dicho punto para obtener los recursos hídricos en este punto.

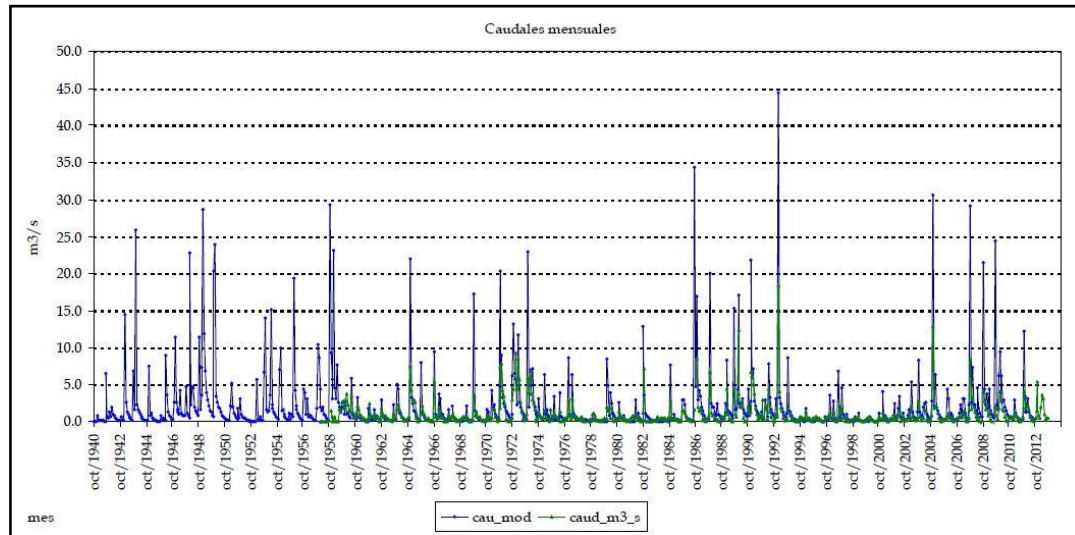


Figura 83. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en el embalse de Beniarrés.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Embalse de Beniarrés	Año 40	30.32	22.04	36.75	58.79	37%	93.93%	-2.82
	Año 80	29.09	21.96	39.40	61.36	36%	110.90%	-3.07

Tabla 60. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Beniarrés.

Los resultados que arroja el PATRICAL en este punto y los datos observados y registrados en el Embalse de Beniarrés son los que se muestran en la Figura 83 y la Tabla 60. El análisis de dichos datos permite realizar una serie de observaciones, y son las siguientes:

- Las aportaciones superficiales de recursos suponen el 65% en este punto, lo que indica que no se dan en esta zona muchas interrelaciones río-acuífero.
- En lo que respecta a los estadísticos de control, tanto el BIAS como el Índice de Nash señalan que el ajuste del modelo con respecto a los datos realmente observados son totalmente insatisfactorios y que no existen semejanzas entre los puntos observados y los modelizados.

4.6.7. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.

El contraste de ambos modelos permite concluir que, para el único punto analizado en el sistema Serpis, el modelo actualizado supone una mejora, aunque el ajuste de los estadísticos de control sigue siendo rotundamente insatisfactorio.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Embalse de Beniarrés	Año 40	31.02	82.39	165.58%	-3.81	58.79	93.93%	-2.82
	Año 80	28.93	76.30	163.76%	-2.80	61.36	110.90%	-3.07

Tabla 61. Análisis comparativo entre el Modelo Original y el Modelo Actualizado en el río Serpis.

4.7. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MARINA ALTA.

AUTOR: FRANCISCO JAVIER MUÑOZ DEL PRADO

4.7.1. Descripción del Sistema.

El sistema de explotación de la Marina Alta -Figura 84- se encuentra al norte de la provincia de Alicante y comprende todas las cuencas litorales comprendidas entre el límite norte del municipio de Oliva y el margen izquierdo del río Algar que ya pasa a formar parte del sistema de la Marina Baja. La extensión total del sistema es de 840 km² aproximadamente.

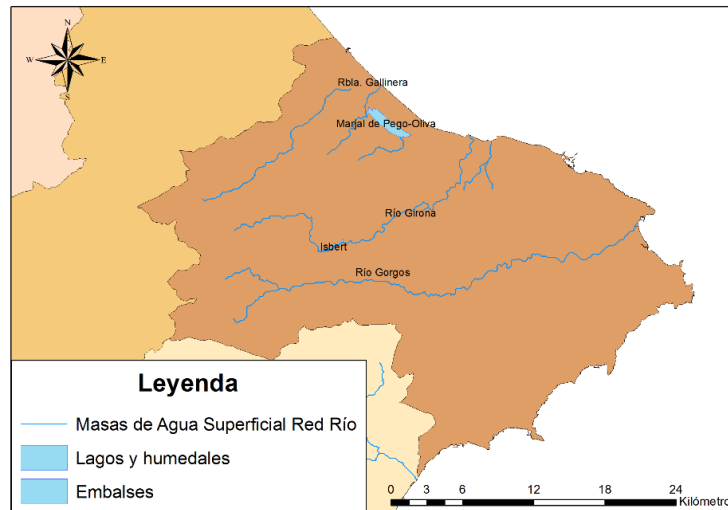


Figura 84. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Marina Alta.

Los elementos superficiales del sistema como se aprecia en la figura x son principalmente por los ríos Girona y Gorgos, además de la rambla Gallinera, los ríos Vedat y Revolta y el barranco de Alberca:

- **Río Girona:** El río Girona, de 32 km de longitud total de cauce nace en la sierra de la Carrasca, discurriendo por el valle con el mismo nombre recibiendo un pequeño aporte de manantiales situados próximos a él. Una vez el cauce se encuentra por encima de la masa subterránea de la Sierra de Mediodía, los materiales calizos de la sierra ocasionan que el poco caudal que lleva el cauce se infiltre en ella, dando como consecuencia que el cauce se encuentre seco prácticamente durante todo el año -Imagen 30.a-. Después, continúa sobre el valle de Orba, desembocando finalmente en el mar Mediterráneo en las proximidades a los municipios de Setla y Mirafior.
- **Río Gorgos:** El río Gorgos -Figura 30.b-, de 50 km de longitud de cauce nace en las proximidades del municipio de Facheca, recogiendo el aporte de las escorrentías provenientes de las sierras de Alfaro y Serrella. Desde que el cauce discurre a través de Castell recibe el aporte de varios manantiales y llega a desembocar en el puerto de Jávea, donde extrañamente porta recurso hídrico.



Imagen 30. a) Cauce del río Girona seco. y b) Río Gorgos a su paso por el municipio de Jalón tras un episodio de lluvias en Noviembre de 2015.

En el sistema de la Marina Alta existe una única infraestructura de gestión de recursos hídricos -y con una problemática en ella- que es el embalse de Isbert -Imagen 31-. El embalse de Isbert, finalizado de construir en el año 1959, que presenta una tipología de presa de gravedad y que tiene una capacidad de poco más de 1 hm³, se encuentra abandonado, debido que a no llega a retener agua debido a las filtraciones que se producen en él.



Imagen 31. Embalse de Isbert en el río Girona.

En lo referente a las masas de agua subterránea -Figura 86- se encuentran, ya sea totalitaria del sistema de explotación o compartida con otros sistemas, las masas de agua delimitadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar de la Plana de Gandía, Almirante-Mustalla, Oliva-Pego, Alfaro-Segaria, Mediodía, Cortes-Carrasqueta, Peñón-Bernia, Ondara-Dénia, Montgó, Jávea, depresión de Benisa, el acuífero impermeable 23 y una pequeña porción de Serrella-Aixorta-Algar.

4.7.2. Relaciones Río-Acuífero.

4.7.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.

Según la información del Instituto Geológico y Minero de España, en el sistema de la Marina Alta se encuentran un total de 16 manantiales en total –Figura 85-, distribuidos de la siguiente forma:

- Font de Llombai en el nacimiento de la rambla Gallinera.
- En las proximidades a la marjal Pego-Oliva Les Aigues, Ullal Bullent, Balsa Sineu, El Salinar (Pego), y Riu Barranquet y riu de Molinell, no funcionando actualmente los últimos dos.
- En el río Girona la Font del Mort, Font de la Sagra, La Cava y Bolata.
- En el nacimiento del río Gorgos Font de la Bota, Benigembla, Murla y Font de la Rompuda.

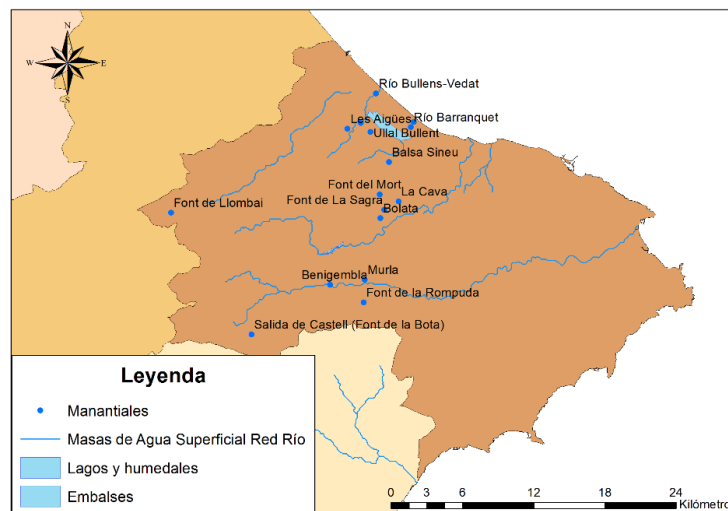


Figura 85. Manantiales del sistema Marina Alta.

Respecto a humedales presentes en el sistema se encuentra el parque natural del marjal Pego-Oliva entre los términos municipales de Oliva, municipio de la provincia de Valencia, y Pego, de la provincia de Alicante. Es una Zona de 1.290 hectáreas calificada como zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA). También en el convenio Ramsar (RAMSAR, 1971) de *Protección mundial de zonas húmedas*. -Imagen 32-.



Imagen 32. Marjal Pego-Oliva.

4.7.2.2. Relaciones Río-Acuífero.

Según la información obtenida del IGME, se puede representar el mapa con la relación río-acuífero del sistema Palancia-Los Valles -Figura 86-, siendo los ríos con cauce ganador aquellos que en algún punto reciben un aporte de recurso hídrico por parte de la componente superficial, los ríos de carácter perdedor aquellos que ocurre en el caso contrario, se infiltra el recurso a la componente subterránea, y de carácter variable aquellos tramos dónde en función del clima y la época del año se comportan de una manera u otra :

Con la representación de esta información se pueden observar diversos aspectos en el sistema:

- En el nacimiento de la Rambla Gallinera hay una aportación subterránea y en su desembocadura se produce una infiltración.
- En las proximidades al marjal Pego-Oliva hay una descarga a la superficie debida a los manantiales previamente citados.
- Exceptuando dos puntos de descarga a la superficie, a lo largo de todo el cauce del río Girona se produce una infiltración por parte del cauce a la masa subterránea.
- El río Gorgos tiene un en su nacimiento y tramo alto debido a los manantiales que le abastecen, y en el bajo presenta infiltraciones a la masa subterránea.

4.7.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Si se intersecta la información de la existencia de lagos, humedales, manantiales y los comportamientos río-acuífero con las masas de agua subterránea existentes en el sistema de la Marina Alta, se puede deducir cuales de estas masas descargan a la superficie y cuales por el contrario no -Figura 86-:

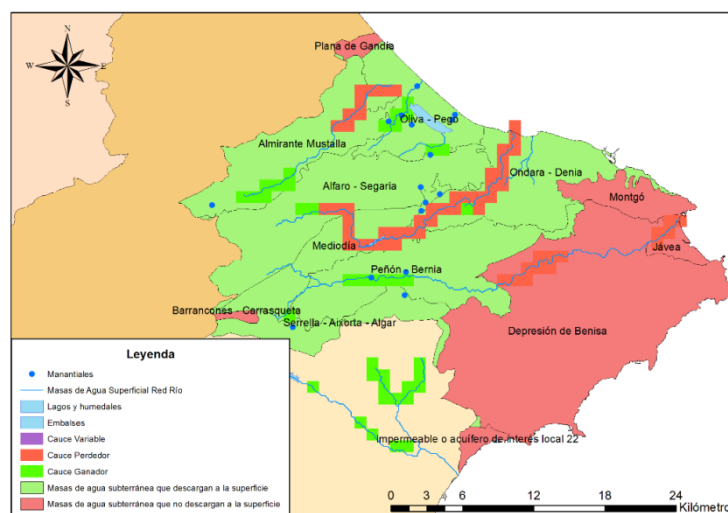


Figura 86. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Marina Alta.

Para saber con una mayor exactitud el comportamiento de estas masas se desagregarán en sectores que las conformen, pues algunas de ellas tienen una gran extensión y su comportamiento puede no ser representativo de la misma -Figura 87-:

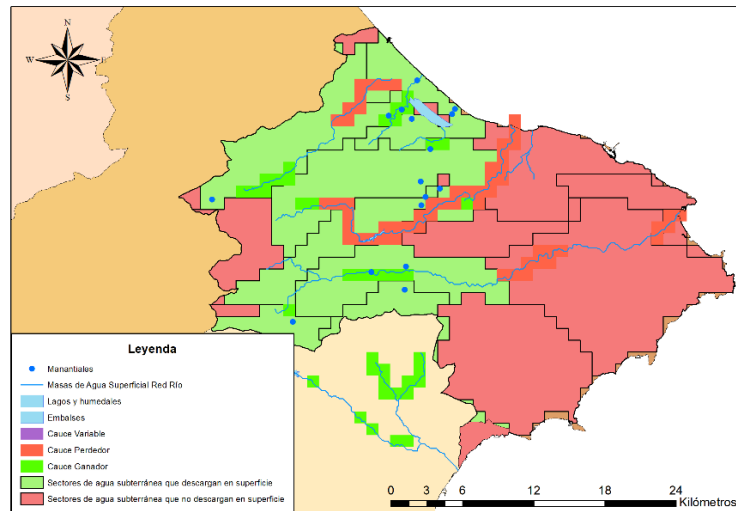


Figura 87. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Marina Alta.

Con esta información se aprecia que en las masas de agua subterránea de la Plana de Gandía, Montgó, Jávea, Barrancones-Carrasqueta y la depresión de Benisa no hay ninguna descarga a la superficie.

Acerca de los sectores de masas de agua subterránea se aprecia que la masa subterránea de Ondara-Dénia sólo vierte en una zona puntual pese a su amplia superficie, al igual que ocurre en la masa de agua subterránea Peñón-Bernia

4.7.3. Puntos de Contraste Modelo-Realidad.

En el sistema de la Marina Alta surge la problemática que no se encuentra ninguna estación de aforos para contrastar el comportamiento del modelo, de hecho ni siquiera se puede contrastar el embalse de Isbert ya que no funciona correctamente, por tanto sólo se disponen de puntos del modelo -Figura 88-:

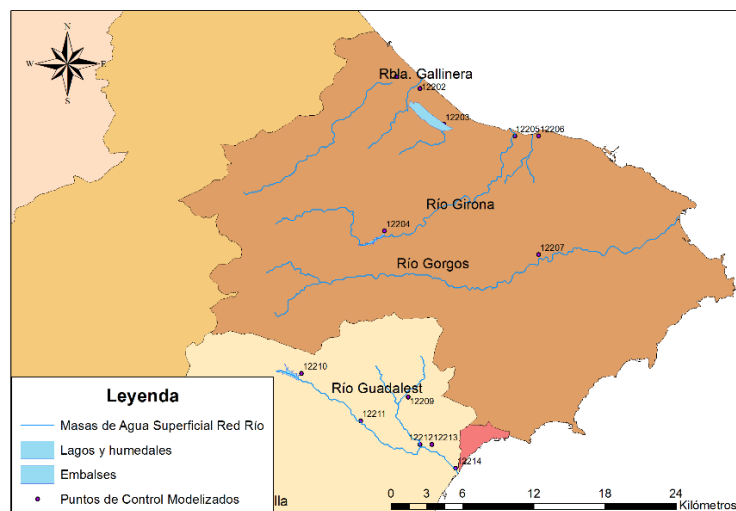


Figura 88. Puntos de masas de agua modelizados en el sistema Marina Alta.

4.7.4. Conclusiones.

1. La ausencia de estaciones de aforos se justifica a que los cauces de la Marina Alta se encuentran prácticamente secos durante todo el año, con una aportación nula de recursos hídricos.
2. Al no disponer de puntos donde observar las aportaciones reales de los cauces del sistema de la Marina Alta, no se puede efectuar el contraste y, por tanto, no se puede apreciar la fiabilidad que presenta el modelo respecto a la realidad en el sistema.

4.8. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MARINA BAJA.

AUTOR: FRANCISCO JAVIER MUÑOZ DEL PRADO

4.8.1. Descripción del Sistema.

El sistema de explotación Marina Baja comprende todas las subcuencas litorales entre el propio río Algar y el término sur del municipio de Villajoyosa -Figura x-. En él se encuentran como componentes superficiales relevantes del sistema los ríos Amadorio, Algar y sus correspondientes afluentes, el río Sella del río Amadorio, y el río Guadalest del río Algar. La extensión total del sistema es aproximadamente de 600 km².

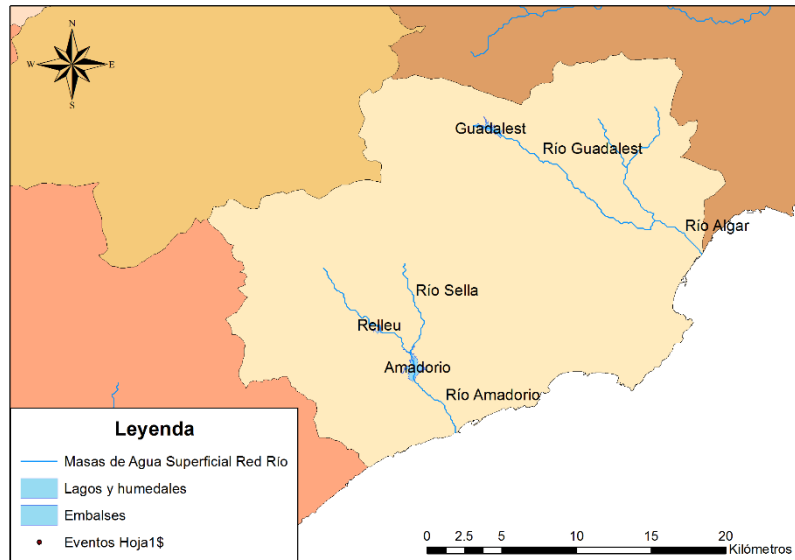


Figura 89. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Marina Baja.

- Río Algar: El cauce del río Algar de 12 km aproximados de longitud, tiene su nacimiento en la sierra de Ferrer, en las fuentes del Algar. Recibe como afluentes los ríos Bolulla y Guadalest, este último a la altura del municipio alicantino de Polop, y desemboca en el mar Mediterráneo en las proximidades a Altea -Imagen 33.a-.
- Río Amadorio: El río Amadorio, con una longitud de 28.4 km, es el cauce superficial con mayor longitud del sistema de la Marina Baja. Nace en las Sierras del Ratamar por la acumulación de escorrentía de varios barrancos como Monferri, el Rogull y Escuders, entre otros. Dispone de dos embalses a lo largo de su cauce, el embalse del Rilleu y el de Amadorio, aguas abajo de recibir los aportes del río Sella. Desemboca en la localidad de Villajoyosa -Imagen 33.b-.



Imagen 33.a) Río Algar en Altea. y b) Río Amadorio en Villajoyosa.

Respecto a las infraestructuras de gestión en el sistema de la Marina Baja aparecen los embalses del Rellou, Guadalest y Amadorio, siendo estos dos últimos los más relevantes.

- Embalse del Rellou: El embalse del Rellou se sitúa en el río Amadorio aguas arriba de la confluencia con el río Sella. Su tipología de presa es de Bóveda, y la capacidad del embalse es de 1 hm³ -Imagen 34.a-.
- Embalse de Guadalest: Su uso principal es el riego y abastecimiento. Su tipología de presa es de gravedad, y presenta una capacidad máxima de 16 hm³ -Imagen 34.b-.



Imagen 34.a) Embalse del Rellou y b) Embalse de Guadalest.

- Embalse de Amadorio: El uso principal del embalse de Amadorio es el riego y abastecimiento -Imagen 35-. Su tipología de presa es de gravedad, y presenta una capacidad máxima de 13 hm³ -Figura 35-.



Imagen 35. Embalse de Amadorio.

Acerca de las masas de agua subterránea se encuentran ocho de ellas en el sistema, que son Serrella-Aixorta-Algar, una pequeña extensión de la depresión de Benisa, San Juan – Benidorm, Sierra Aitana, Orcheta y los acuíferos de interés local 21, 22 y 23 -Figura 91-.

4.8.2. Relaciones Río-Acuífero.

4.8.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.

Según la información del Instituto Geológico y Minero de España en el sistema de la Marina Baja se encuentran 16 manantiales en total –Figura 90-, distribuidos de la siguiente forma:

- Existen varias fuentes a priori desconectadas de los cauces superficiales más destacables del sistema, como Mela, Machelis, Fuster, Font de Toni, Los Chorros, Fuente de Partejat, El Arc y Molins.
- Font Grossa, Font de Cases de Ibáñez, Sarocha, y las Fuentes del Algar en la cabecera del cauce Algar-Bolullà.
- La Fuente Mayor de Carriosa d’En Sarrià y Garrofer y barranco de la Saud en el río Guadalest.

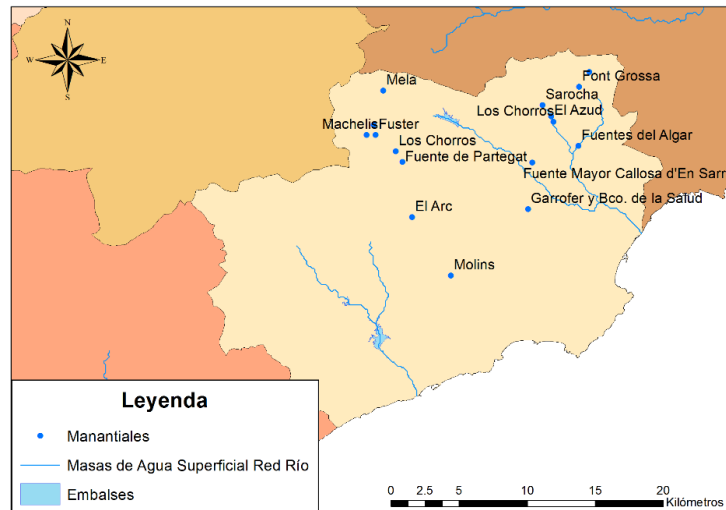


Figura 90. Manantiales del sistema Marina Baja

4.8.2.2. Relaciones Río-Acuífero.

Según la información obtenida del IGME, se puede representar el mapa con la relación río-acuífero del sistema Marina Baja -Figura 91-, siendo los ríos con cauce ganador aquellos que en algún punto reciben un aporte de recurso hídrico por parte de la componente superficial, los ríos de carácter perdedor aquellos que ocurre en el caso contrario, se infiltra el recurso a la componente subterránea, y de carácter variable aquellos tramos dónde en función del clima y la época del año se comportan de una manera u otra :

Con la representación de esta información se puede observar diversos aspectos en el sistema:

- En el sistema se producen varias descargas a la superficie en el sistema Guadalest-Algar Bolullà.
- En ningún punto según esta información se produce infiltración de los cauces a las masas subterráneas que existen debajo de ellos
- El nacimiento del río Sella proviene de una descarga del acuífero.

4.8.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Si se intersecta la información de la existencia de lagos, humedales, manantiales y los comportamientos río-acuífero con las masas de agua subterránea existentes en el sistema del Mijares, se puede deducir cuales de estas masas descargan a la superficie y cuales por el contrario no -Figura 91-:

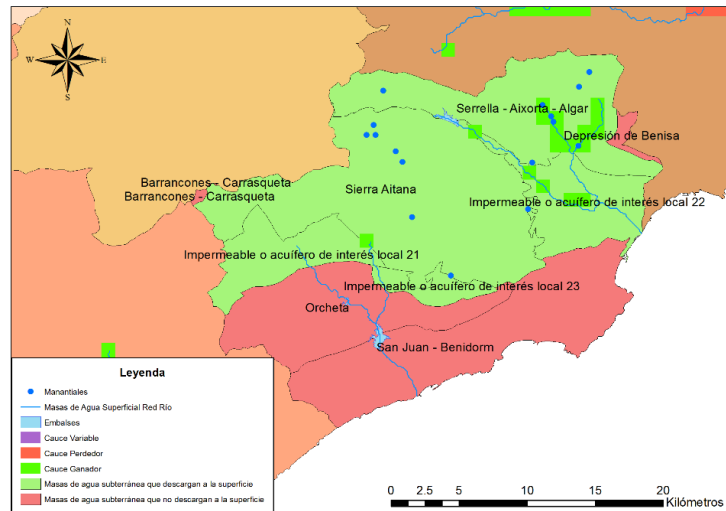


Figura 91. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Marina Baja.

Para saber con una mayor exactitud el comportamiento de estas masas se desagregarán en sectores que las conformen, pues algunas de ellas tienen una gran extensión y su comportamiento puede no ser representativo de la misma –Figura 92–:

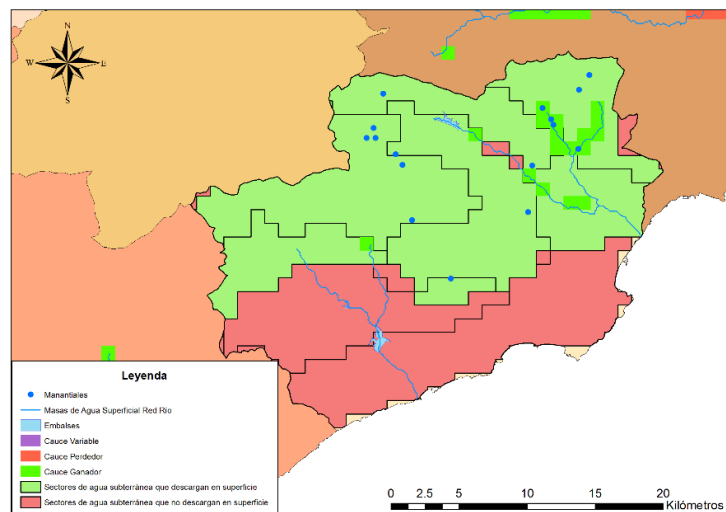


Figura 92. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Marina Baja.

Con esta información se aprecia que a excepción de la pequeña superficie de la depresión de Benisa, Orcheta y San Juan-Benidorm el resto de masas de agua subterránea descarga en algún punto a la superficie, pese a que estos dos últimos suponen más de un tercio de la extensión total del sistema de la Marina Baja.

Acerca de los sectores de masas de agua subterránea se observa cómo el comportamiento de los sectores y masas de agua subterránea es idéntico; en todos los sectores de las masas subterráneas que descargan a la superficie existe también una descarga.

4.8.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el sistema de la Marina Baja existen un total de seis estaciones de aforos de la Confederación Hidrográfica del Júcar donde se observan los caudales superficiales reales que pasan por ellos -Figura 93-, además de los embalses del Relleu, Amadorio y Guadalest.

Acerca de los puntos modelizados de masas de agua superficial que el PATRICAL escoge también están representados en la figura x:

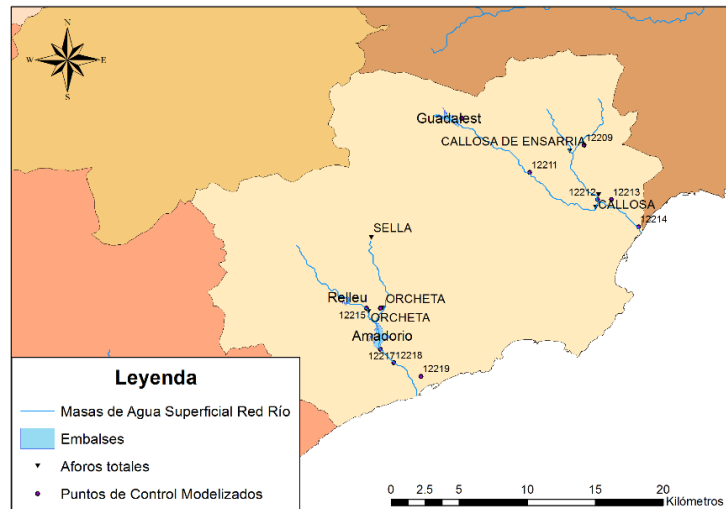


Figura 93. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el sistema de la Marina Baja.

4.8.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.

Con los puntos de masas de agua modelizados y las estaciones de aforos de la CHJ, se efectuará un contraste de los valores de caudales superficiales en dichos puntos con los observados en las estaciones y mediante el uso de los estadísticos muestrales PBIAS y Nash se observará la fiabilidad del modelo.

A la hora de escoger los puntos de contraste en el sistema de la Marina Baja se deberán de tener en cuenta varios criterios:

- Debido a la poca aportación que tiene el río Algar antes de su confluencia con el río Guadalest, se descartarán los puntos del río Algar en fuentes del Algar y en Callosa d'En Sarrià.
- El aforo de Callosa se descartará debido a que el régimen se encuentra alterado por el embalse de Guadalest, y por tanto al no ofrecerse la serie restituida a su régimen natural no aportará resultados adecuados.
- El aforo del río Sella en su nacimiento no se estudiará puesto que no observará una aportación relevante.
- El aforo del río Amadorio en Orcheta, al igual que las entradas al embalse de Amadorio no se estudiarán puesto que el régimen se encuentra alterado por el embalse del Relleu aguas arriba, y por tanto no ofrecerán resultados fiables para contrastar el modelo.

Por tanto, los puntos que se analizará para contrastar el modelo con la realidad son:

1. Río Guadalest en las entradas al embalse de Guadalest.
2. Río Sella en el aforo de Orqueta.

4.8.5. Análisis de los resultados del modelo original.

4.8.5.1. Punto de contraste de las entradas al embalse de Guadalest.

El contraste de caudales en las entradas al embalse de Guadalest es el mostrado en la figura 94:

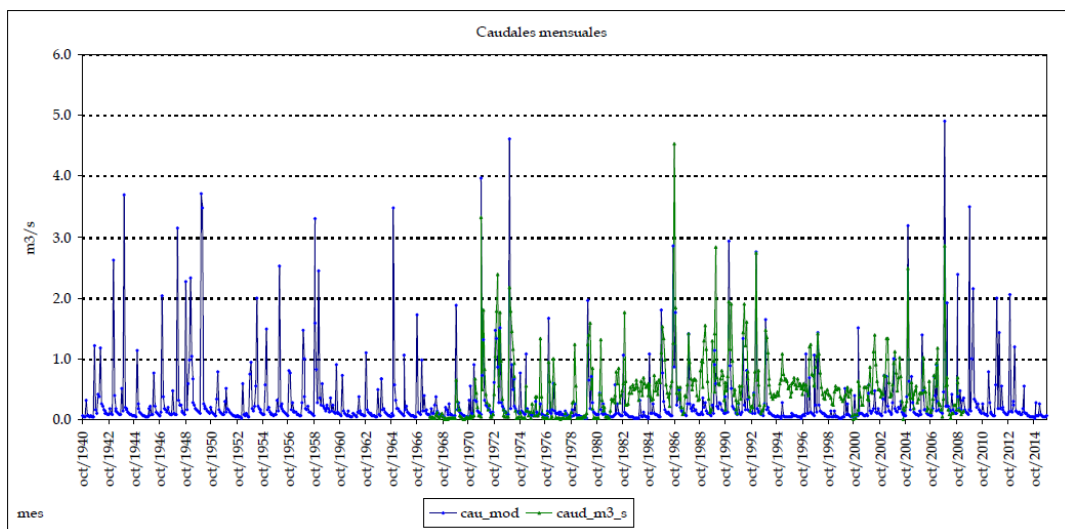


Figura 94. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas embalse de Guadalest.

En la tabla 62 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sub}$ (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sup}$ (Hm ³ /año)	Q_{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Guadalest	Año 40	15.41	3.14	5.96	9.10	35%	-40.98%	-0.01
	Año 80	18.16	3.00	5.50	8.50	35%	-53.21%	-0.38

Tabla 62. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original en el embalse de Guadalest.

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados en las entradas al embalse de Guadalest en el punto estudiado el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- En ambas series históricas el caudal observado en el punto de estudio es significativamente mayor que el simulado, entre un 40% y un 50% de variación. se trata de un ajuste insatisfactorio.

- En cuanto al coeficiente de Nash, da valores negativos. Esto es debido a que al existir prácticamente el doble de aportaciones observadas respecto a las modelizadas la forma que tienen ambas series históricas es completamente diferente.
- Se debería de aumentar en torno un 25% las aportaciones del modelo para que en el punto analizado se produjese un ajuste satisfactorio.

4.8.5.2. Punto de contraste del río Sella en Orcheta.

El contraste de caudales en el río Sella en la estación de aforos de Orcheta el mostrado en la figura 95:

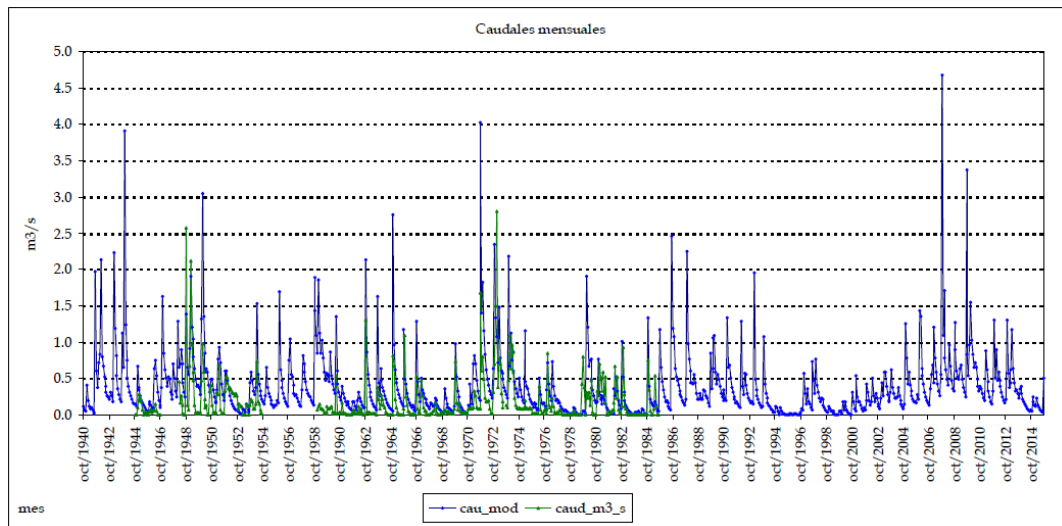


Figura 95. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Sella en Orcheta.

En la tabla 63 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Sella Orcheta	Año 40	14.39	36.33	13.70	50.04	73%	247.78%	-34.84
	Año 80	0.00	36.68	14.99	51.67	71%	-	-

Tabla 63. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo original del río Sella en Orcheta.

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados en el río Sella en el punto estudiado el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- En ambas series el modelo genera unas aportaciones mayores que las que en realidad existen; esto causa que su dispersión sea elevada, dando unos valores de bias relativo superiores al 100%, lo que según Moriasi es un ajuste insatisfactorio al estar por encima de un $\pm 25\%$.

- En cuanto al coeficiente de Nash, los resultados obtenidos están próximos a 0. Esto es consecuencia de que ambas series históricas de caudales no son similares entre ellas, por tanto el ajuste insatisfactorio en las series desde el 1940 y el 1980.
- En el punto estudiado se deberían de reducir considerablemente las aportaciones del modelo, puesto que estos resultados son más del doble de los realmente observados.

4.8.6. Conclusiones del análisis del modelo original.

Con el contraste modelo-observado en los puntos de estudio del sistema de la Marina Baja, las conclusiones que se pueden obtener del funcionamiento de la versión actual del modelo en el sistema son:

1. En el río Guadalest se aprecia una falta de aportación del modelo, mientras que en el río Sella lo que ocurre es al contrario, es mayor la aportación del modelo que la observada. Respecto a la forma de las series históricas modelizada-observada es muy desigual; con valores del coeficiente de Nash con valores próximos a 0 o negativos.
2. Los resultados de ajuste son muy negativos; ninguno de los dos puntos observados arroja un contraste decente. Al tratarse de cauces de aportación muy reducida respecto a los grandes cauces de la demarcación Hidrográfica del Júcar los parámetros del modelo están calibrados para aportar buenos resultados en ellos debido a su mayor importancia.
3. Debido a la disparidad de comportamiento entre ambos puntos estudiados no se debería de efectuar una modificación en las aportaciones puesto que no se sabe con exactitud si el modelo sobredimensiona las aportaciones o si por el contrario no modeliza las suficientes.

4.8.7. Análisis de los resultados del modelo actualizado.

Para la evaluación de los caudales simulados respecto a los observados con la segunda versión del modelo PATRICAL en el sistema de la Marina Baja se descartará el análisis en el río Sella en Orqueta puesto que es un cauce de relevancia menor respecto al río Guadalest.

Por tanto el único punto del sistema donde se evaluará el contraste entre caudales observados y modelizados con la nueva versión del modelo PATRICAL será en el río Guadalest en el embalse de Guadalest.

4.8.7.1. Contraste de Caudales segunda versión del modelo en las entradas al embalse de Guadalest.

La representación gráfica de las series históricas de caudales modelizados por la versión actualizada del modelo y observados en las entradas del río Guadalest al embalse de Guadalest se muestra en la figura 96:

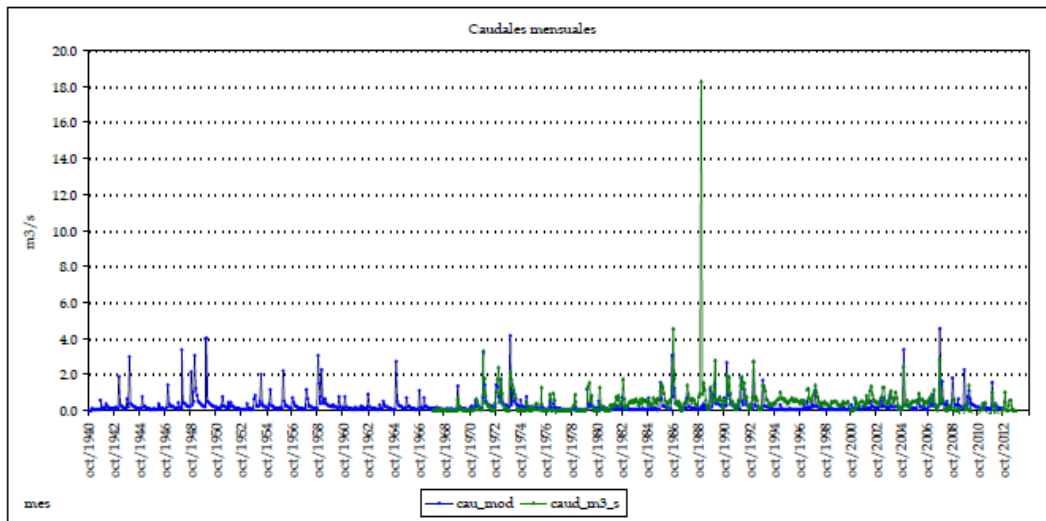


Figura 96 Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo actualizado en las entradas embalse de Guadalest.

Los resultados de las aportaciones hídricas y los valores estadísticos de contraste que presentan las series históricas en las entradas del río Guadalest al embalse de Guadalest se muestran en la tabla 64:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Guadalest	Año 40	15.04	5.17	3.95	9.12	57%	-39.38%	0.02
	Año 80	17.41	5.18	3.98	9.16	57%	-47.42%	-0.07

Tabla 64. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Guadalest.

Con los resultados obtenidos en el punto estudiado se pueden observar varios aspectos:

- Los valores de las aportaciones observadas son superiores a las simuladas, en torno a un 40% tanto en la serie desde el año 1940 como en la serie desde 1980, resultando un ajuste insatisfactorio.
- Los coeficientes de forma presentan unos valores reducidos, de 0.02 y -0.07 respectivamente. Ambos según el criterio de Moriasi son representativos de un ajuste insatisfactorio.
- El punto estudiado no reproduce con fiabilidad el comportamiento del sistema, puesto que en la simulación las aportaciones del modelo son menores a las observadas.

4.8.8. Contraste entre el modelo original y el modelo actualizado.

Una vez se disponen de los datos de aportaciones simuladas y de estadísticos muestrales de ajuste para el modelo original y el modelo actualizado las conclusiones que se extraen son las siguientes:

1. Como se aprecia en la tabla x, la segunda versión del modelo PATRICAL ha generado prácticamente las mismas aportaciones y forma de la serie histórica en el sistema que en su primera versión
2. El cambio pese a ser leve se refleja más en la serie histórica desde el año 1980; donde el coeficiente de Nash aumenta de un -0.38 a un -0.07, y la incertidumbre en las aportaciones se reduce un 6%.
3. Se puede concluir que la segunda versión del modelo PATRICAL en el sistema de la Marina Baja prácticamente no varía respecto a los resultados obtenidos por la versión actual del modelo, y por tanto el modelo sigue sin representar de manera fiable el comportamiento del sistema de explotación.

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Modelo Original			Modelo Actualizado		
			Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH	Q _{sim} (Hm ³ /año)	BIAS	NASH
Guadalest	Año 40	15.04	9.10	-40.98%	-0.01	9.12	-39.38%	0.02
	Año 80	17.41	8.50	-53.21%	-0.38	9.16	-47.42%	-0.07

Tabla 65. Contraste entre versiones del modelo de valores de caudal y estadísticos en el sistema de la Marina Baja.

4.9. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN VINALOPÓ-ALACANTÍ.

AUTOR: FRANCISCO JAVIER MUÑOZ DEL PRADO

4.9.1. Descripción del Sistema.

El sistema de explotación del Vinalopó-Alicantí comprende todas las cuencas comprendidas entre el límite norte del municipio de El Campello hasta la divisoria con la Confederación Hidrográfica del Segura -Figura 97-. En este sistema su masa de agua superficial más relevante es el río Vinalopó, y el resto de componentes superficiales relevantes son los ríos Jijona y Monnegre. La extensión total del sistema es de 2,985 km² aproximadamente.

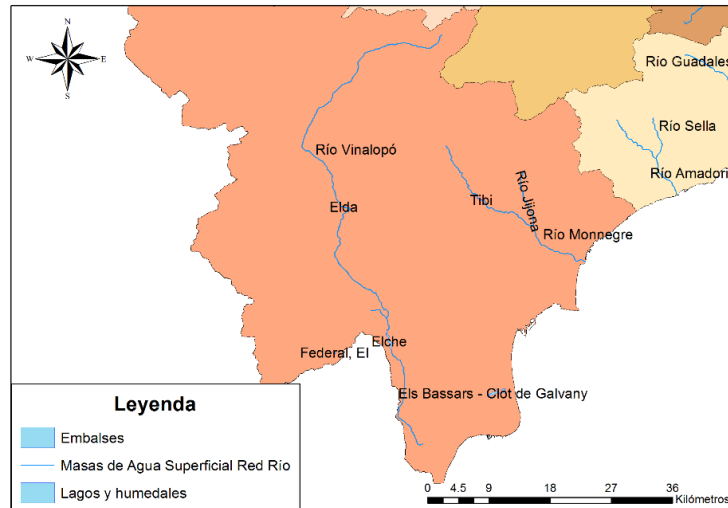


Figura 97. Masas de agua superficiales del Sistema de Explotación Vinalopó-Alicantí.

- Río Vinalopó: La masa de agua superficial más relevante del sistema es el río Vinalopó, de aproximadamente 81 km de longitud de cauce, y con una cuenca de 1692 km² de superficie. Debido a su elevada superficie y longitud podría ser considerado como el componente superficial más importante de todas las demarcaciones sur de la Confederación Hidrográfica del Júcar; no obstante debido al poco recurso hídrico que el río porta le reduce su relevancia. En el río Vinalopó se pueden distinguir tres tramos de cauce:
 - Tramo Alto: El río Vinalopó nace en la sierra de Mariola -Imagen 36.a-, discurriendo inicialmente entre las sierras de la Solana y Fontanella, siendo este tramo el único en el cual el cauce del río porta agua de manera habitual.
 - Tramo Medio: Tras su paso por Villena comienza el tramo medio del río Vinalopó, donde comienza el aprovechamiento de las aportaciones hídricas del río con la finalidad de abastecer el regadío de la zona. Debido a la elevada intensidad de estos, y las filtraciones del recurso hídrico por parte del cauce hacia las masas de agua subterránea sobreexplotadas el río se queda seco -Imagen 36.b-.



Imagen 36.a) Nacimiento del río Vinalopó y b) Tramo medio del río Vinalopó entre Elda y Villena

- Tramo Bajo: En su tramo final el río Vinalopó pasa por Elche y su embalse y discurre sobre los materiales permeables que conforman el Bajo Vinalopó hasta el punto de que el río no llega a desembocar al mar Mediterráneo, donde desaparece su cauce natural. No obstante, la desembocadura del cauce original se encuentra en Santa Pola, y cuando se producen episodios de avenidas relevantes los campos existentes desde este tramo hasta las Salinas de Santa Pola se inundan, recuperando el río su antigua desembocadura.
- Río Monnegre: El río Monnegre, con una longitud de 39.8 km de cauce, comienza en la sierra de Onil, y en su tramo medio y aguas debajo de pasar por el embalse del Tibi, recibe al río Jijona como afluente, para finalizar desembocando al mar Mediterráneo a la altura del municipio alicantino del Campello -Imagen 37-.



Imagen 37. Desembocadura del río Monnegre en Campello.

Respecto a las infraestructuras de gestión en el sistema del Vinalopó se ubican los embalses de Tibi, ubicado en el río Monnegre, de Elda y de Elche, ubicados en el Vinalopó, aunque el embalse de Elda se encuentra en desuso, teniendo únicamente un valor histórico.

- Embalse de Tibi: El embalse de Tibi se sitúa en el río Monnegre, aguas arriba de la confluencia con el río Jijona. Su tipología de presa es de bóveda, y la capacidad máxima del embalse es de 4.3 hm³ -Imagen 38.a-.
- Embalse de Elche: La tipología de presa es de bóveda, y presenta una capacidad máxima de 0.36 hm³. Originalmente se construyó para regular y aprovechar las avenidas del río Vinalopó aunque ocurría la problemática de que el embalse se llenara de sedimento reduciendo la capacidad de retención de la estructura. Fue restaurada en el año 2008 y actualmente sigue en uso -Imagen 38.b-.



Imagen 38.a) Embalse del Tibi. y b) Embalse de Elche.

Acerca de las masas de agua subterránea designadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar, en el sistema Vinalopó Alicante se encuentran un gran número de ellas: Caroch Sur, Sierra de la Oliva, Rocín, Valle de Albaida, Sierra Lácerca, Cuchillo – Moratilla, Sierra del Castellar, Villena – Benejama, Volcadores – Albaida, Sierra Mariola, Salt San Cristóbal, Peñarrubia, Hoya de Castalla, Argüeña – Maigmó, Barrancones – Carrasqueta, Orcheta, Agost – Monnegre, Sierra de Salinas, Sierra del Cid, Sierra del Reclot, Sierra de Argallet, Sierra de Crevillente, Bajo Vinalopó, San Juan - Benidorm y los acuíferos de interés local 19, 21, 24 y 26.

4.9.2. Relaciones Río-Acuífero.

4.9.2.1. Manantiales, Lagos y Humedales.

Según la información del Instituto Geológico y Minero de España en el sistema del Vinalopó-Alicantí se encuentran cinco manantiales en total –Figura 98-, distribuidos de la siguiente forma:

- El nacimiento del río Vinalopó o La Coveta, y también en el tramo alto del mismo río los manantiales de Partiràs, Fontanelles y el Manantial del Figueral (Bihar)
- En el noroeste de sistema el manantial del Paraíso, desconectado a priori de la red superficial relevante del sistema.

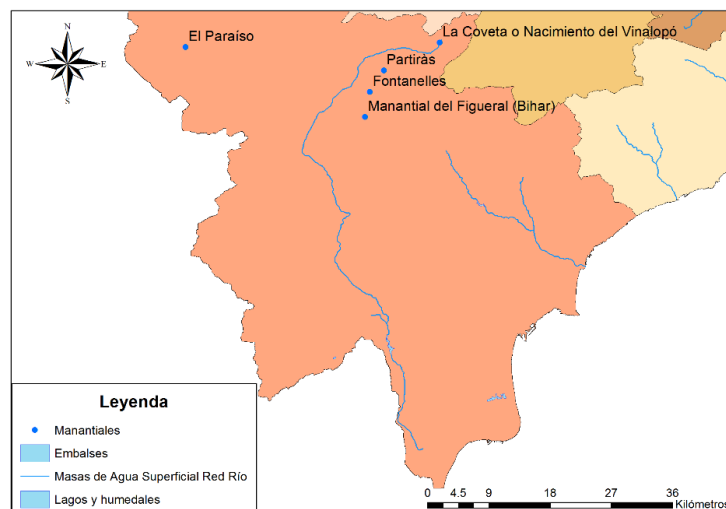


Figura 98. Manantiales del sistema Vinalopó-Alicantí.

En el sistema también se encuentran como zonas de importancia natural relevante el parque natural del humedal de las Salinas de Santa Pola -Imagen 39-, y en menor medida

el parque natural municipal del Clot de Galvany. Este humedal, con 2.470 hectáreas de extensión, presenta una gran importancia debido a que en él habitan una gran diversidad de aves tanto de manera permanente como estacionalmente, de las que destaca el flamenco, pudiéndose apreciar hasta 8.000 ejemplares en la época de cría.



Imagen 39. Salinas de Santa Pola.

4.9.2.2. Relaciones Río-Acuífero.

Según la información obtenida del IGME, se puede representar el mapa con la relación río-acuífero del sistema Vinalopó-Alicantí -Figura 99-, siendo los ríos con cauce ganador aquellos que en algún punto reciben un aporte de recurso hídrico por parte de la componente superficial, los ríos de carácter perdedor aquellos que ocurre en el caso contrario, se infiltra el recurso a la componente subterránea, y de carácter variable aquellos tramos dónde en función del clima y la época del año se comportan de una manera u otra :

Con la representación de esta información se pueden observar diversos aspectos en el sistema:

- Sólo existen descargas de las masas de agua subterránea a las componentes superficiales en los nacimientos de los ríos Vinalopó, Monnegre y Jijona.
- En el curso medio y en el final del río Vinalopó se produce una infiltración a las masas de agua subterránea sobre el cauce.
- Aguas abajo del embalse de Tibi, y bajo la confluencia con el río Jijona el río Monnegre infiltra recurso hídrico al acuífero.

4.9.2.3. Comportamiento de las masas de agua subterránea.

Si se intersecta la información de la existencia de lagos, humedales, manantiales y los comportamientos río-acuífero con las masas de agua subterránea existentes en el sistema del Vinalopó, se puede deducir cuales de estas masas descargan a la superficie y cuales por el contrario no -Figura 99-:

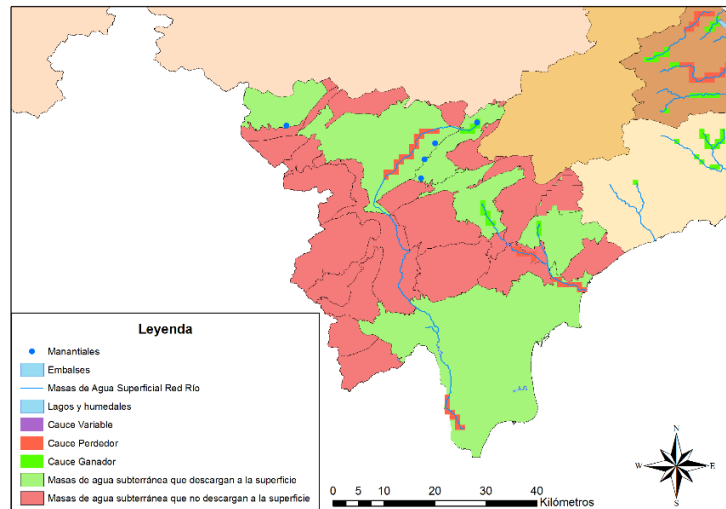


Figura 99. Comportamiento de las masas de agua subterránea del sistema Vinalopó-Alicantí.

Para saber con una mayor exactitud el comportamiento de estas masas se desagregarán en sectores que las conformen, pues algunas de ellas tienen una gran extensión y su comportamiento puede no ser representativo de la misma –Figura 100–:

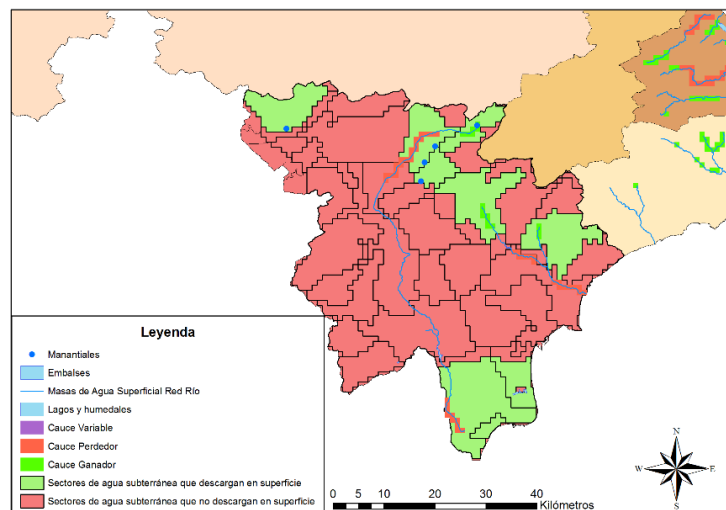


Figura 100. Comportamiento de los sectores de agua subterránea del sistema Vinalopó-Alicantí.

Con esta información se aprecia que debido a las pocas componentes superficiales del sistema y su poco recurso portante, y a los pocos manantiales existentes en un sistema de tanta superficie, más de la mitad de masas de agua subterránea no descargan a la superficie en ningún punto.

Acerca de los sectores de masas de agua subterránea se observa cómo de 65 sectores de agua subterráneos únicamente descargan 9 a la superficie; esto quiere decir que el sistema presenta muy poca relación entre acuíferos y masas de agua superficiales.

4.9.3. Puntos de masas de agua y puntos de contraste.

En el sistema del Vinalopó existen un total de cinco estaciones de aforos de la Confederación Hidrográfica del Júcar donde se observan los caudales superficiales reales que pasan por ellos -Figura 101-.

Acerca de los puntos modelizados de masas de agua superficial que el PATRICAL escoge también están representados en la figura 101:

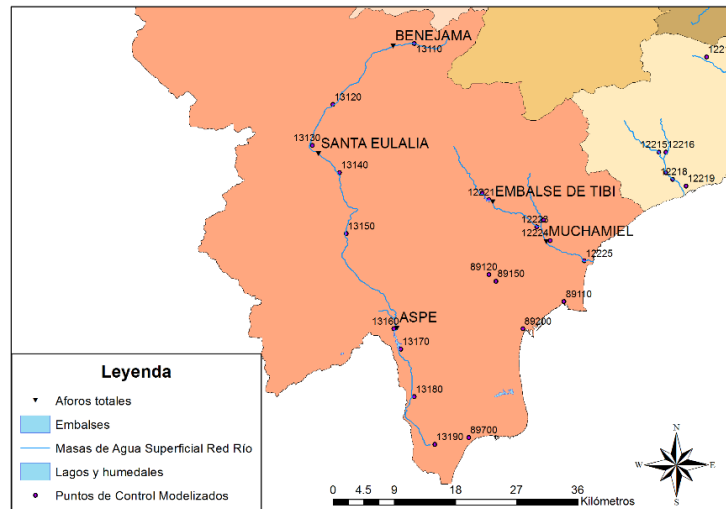


Figura 101. Estaciones de aforo de la CHJ y puntos de masas de agua modelizados en el Marina Baja.

4.9.4. Criterios de elección de puntos de Contraste.

Con los puntos de masas de agua modelizados y las estaciones de aforos de la CHJ, se efectuará un contraste de los valores de caudales superficiales en dichos puntos con los observados en las estaciones y mediante el uso de los estadísticos muestrales PBIAS y Nash se observará la fiabilidad del modelo.

A la hora de escoger los puntos de contraste en el sistema de explotación Vinalopó-Alicantí se deberán de tener en cuenta varios criterios:

- Se descartará el aforo de Benejama por estar muy próximo al nacimiento del río Vinalopó.
- El análisis en el embalse de Tibi se descartará puesto que el río Monnegre hasta el embalse no aporta una cantidad relevante de información.
- El aforo de Muchamiel se encuentra bajo un régimen alterado, puesto que el embalse de Tibi altera el régimen natural del río; por tanto sus resultados no son fiables.

Por tanto, los puntos que se analizará para contrastar el modelo con la realidad son:

1. Río Vinalopó en el aforo de Santa Eulalia en Villena.
2. Río Vinalopó en su entrada al embalse de Elche.

4.9.5. Análisis de los resultados del modelo original.

4.9.5.1. Punto de contraste del río Vinalopó en el aforo de Santa Eulalia.

El contraste de caudales del río Vinalopó en el aforo de Santa Eulalia es el mostrado en la figura 102:

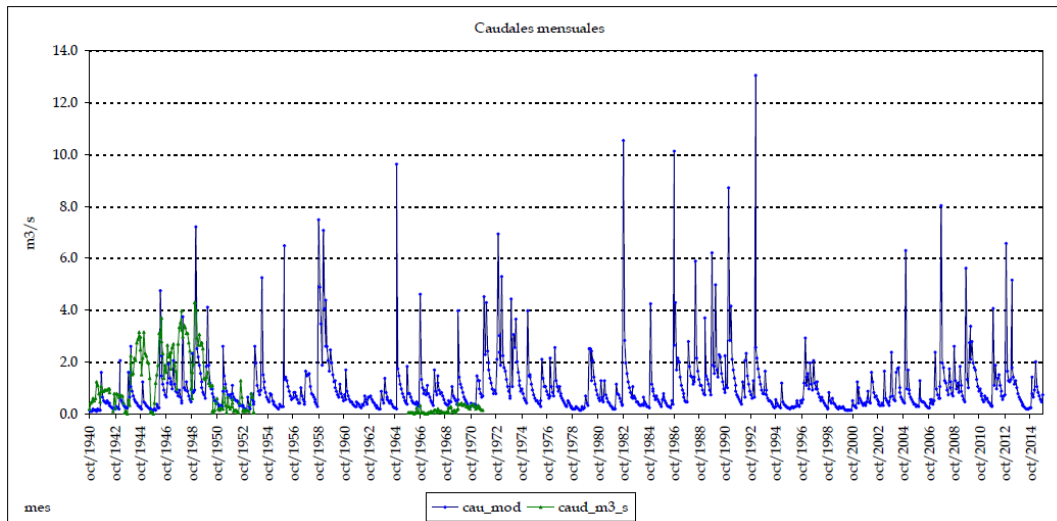


Figura 102. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en el río Vinalopó en Santa Eulalia.

En la tabla 66 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q_{obs} (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sub}$ (Hm ³ /año)	$Q_{sim.sup}$ (Hm ³ /año)	Q_{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Santa Eulalia	Año 40	30.04	22.50	9.89	32.39	69%	7.83%	-0.12
	Año 80	0.00	22.85	10.87	33.72	68%	-	-

Tabla 66. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado del río Vinalopó en el aforo de Santa Eulalia

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados en el río Vinalopó en el aforo de Santa Eulalia en Villena el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- Se dispone de muy pocos datos de caudales observados, y ninguno a partir del año 1970; esto genera que en la serie desde el año 1980 no existan valores y por tanto no se pueda contrastar información modelo-realidad.
- En la serie desde el año 1940, los pocos datos de aportaciones observadas se ajustan muy bien a las modelizadas, con un bias relativo de 7.83% que según se trata de un ajuste muy bueno. No obstante el coeficiente de Nash presenta un valor de -0.12, por lo que el ajuste entre la forma de ambas series históricas es muy insatisfactorio.
- Con el único dato de aportaciones que se dispone en el punto estudiado -para la serie desde el año 1940-, no se modificará el valor de dichas aportaciones en el modelo puesto que los resultados obtenidos son muy buenos.

4.9.5.2. Punto de contraste de las entradas al embalse de Elche.

El contraste de caudales en las entradas al embalse de Elche es el mostrado en la figura 103:

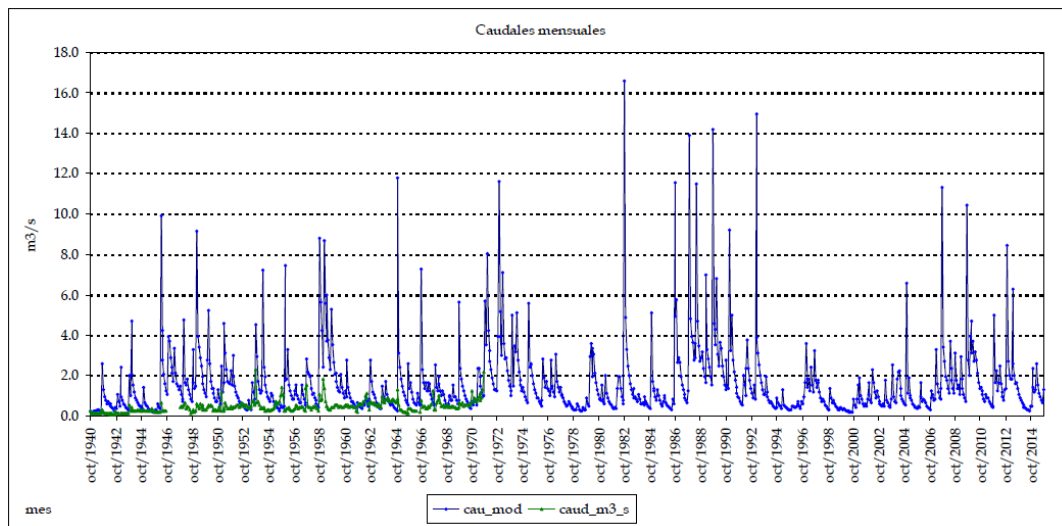


Figura 103. Serie histórica de caudales observados y modelizados con el modelo original en las entradas al embalse de Elche.

En la tabla 67 se muestran los datos promedio anuales de los caudales observados y modelizados, y los estadísticos muestrales de contraste para las series desde el 1940 y desde el 1980:

Aforo	Desde	Q _{obs} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sub} (Hm ³ /año)	Q _{sim.sup} (Hm ³ /año)	Q _{sim} (Hm ³ /año)	% _{sub/total}	BIAS	NASH
Elche	Año 40	14.39	36.33	13.70	50.04	73%	247.78%	-34.84
	Año 80	0.00	36.68	14.99	51.67	71%	-	-

Tabla 67. Datos de caudales y estadísticos de ajuste del modelo actualizado en el embalse de Elche.

Tras realizar el contraste de caudales modelizados-observados en el río Vinalopó en sus entradas al embalse de Elche el análisis que se puede extraer es el siguiente:

- Al igual que en el punto estudiado previo, falta información a partir del año 1970. Por tanto no se puede comprobar la fiabilidad del modelo en la serie desde el año 1980.
- En la serie desde el año 1980 el caudal modelizado es mucho mayor que el observado. Por ello el ajuste es muy malo e insatisfactorio, con un bias relativo del 247.78% y un Nash de -34.84
- En este punto se debería de disminuir el volumen de aportaciones del sistema, puesto que el modelo sobredimensiona de gran manera las aportaciones hídricas al sistema.

4.9.6. Conclusiones del análisis del modelo original.

Con el contraste modelo-observado en los puntos de estudio del sistema del Vinalopó-Alicantí, las conclusiones que se pueden obtener del funcionamiento de la versión actual del modelo en el sistema son:

1. Ante la ausencia de muchos datos de caudales observados el modelo no genera adecuadamente las aportaciones en el río Vinalopó. También es relevante recalcar que los coeficientes del modelo están pensados para cauces con una aportación mucho mayor que el del río Vinalopó, por lo que el resultado del ajuste total en el sistema es muy insatisfactorio.
2. Se puede intuir que el río Vinalopó filtra una gran cantidad de su aportación hídrica a los acuíferos por los que discurre, sobretodo en sus tramos medio y bajo del cauce, y el modelo no simula adecuadamente esta relación entre el río y las masas de agua subterránea.
3. Puesto que en los dos puntos de contraste se ha encontrado un ajuste muy bueno y un ajuste muy insatisfactorio, no se modificará el nivel de aportaciones del sistema en el modelo puesto que existe una incertidumbre acerca del comportamiento del mismo respecto a la realidad.

4.9.7. Conclusiones.

Expuesta la problemática del río Vinalopó respecto a sus pocas aportaciones, su infiltración de caudal a las masas de agua subterránea por las que discurre su cauce y la ausencia de datos observados a partir del año 1970 se ha decidido no analizar el comportamiento de la segunda versión del modelo en el sistema de explotación Vinalopó-Alicantí, puesto que los resultados finales no aportarán un diagnóstico adecuado para el contraste entre las versiones del modelo.

5. Conclusiones generales.

Tras lo evaluado a lo largo de este documento, las conclusiones que se extraen son las siguientes:

1. El modelo actualizado ha producido mejoras, respecto al modelo original, en los sistemas cuyas cuencas fluviales son medias y grandes. Estos sistemas son: sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón, sistema de explotación Palancia-Los Valles, sistema de explotación Túria y sistema de explotación Júcar.
2. Por el contrario, en las cuencas fluviales consideradas como pequeñas, al introducir las actualizaciones se aprecia como los sistemas de explotación Marina Baja y Serpis se mantienen en los mismos valores y por tanto no supone un cambio relevante.
3. De la misma manera, los cambios introducidos en la actualización del modelo ocasionan un empeoramiento en el análisis del sistema de explotación Cénia-Maestrazgo.
4. Por último, en los dos sistemas de explotación restantes -Marina Alta y Vinalopó- por las razones explicadas previamente no se ha podido evaluar si la actualización del modelo ha mejorado los resultados del modelo actual.

Como conclusión final de este estudio, se considera que la actualización del modelo de simulación de aportaciones hídricas PATRICAL presenta un comportamiento que se ajusta mejor a la realidad que el modelo original.

6. Futuras Líneas de Investigación.

Con las conclusiones finales de este proyecto expuestas, se enuncian una serie de propuestas que abren una línea futura de investigación sobre el modelo PATRICAL con el fin de representar con mayor fidelidad el sistema.

1. Actualizar la base de datos de caudales observados. La serie de datos observados que el modelo tiene implementada concluye en el año 2008; si se completan estos datos hasta la actualidad, aumentará la información de contraste de caudales observados en las estaciones de aforo y así ajustar mejor el modelo.
2. Introducir las relaciones río-acuífero en el modelo. Si se incluyen en el modelo los tramos de río ganadores, perdedores y variables, éste modelizará con precisión los puntos del sistema en los que el cauce recibe aportaciones de agua subterránea y aquellos dónde se produzca infiltración del cauce a las masas subterráneas.
3. Introducir en el modelo manantiales, lagos y humedales. La incorporación de los datos referentes a la localización de los manantiales, lagos y humedales supone indicar al modelo que por dichos puntos se produce una surgencia de agua subterránea a la superficie.
4. Considerar el efecto del cambio climático en el ámbito de estudio. Si se otorga una mayor relevancia a las series históricas de caudales recientes que a la serie histórica completa se puede representar mejor el comportamiento del sistema en los años recientes, y contrastarlo con el resultado de la serie completa. Con este procedimiento se puede apreciar la variación en las aportaciones, y evaluar el impacto real del cambio climático en el ámbito de estudio.

7. Referencias de fuentes fotográficas.

Imagen 1. Tramo del río Cénia en su curso alto.	13
Imagen 2. Desembocadura del río Cénia.....	14
Imagen 3. Desembocadura del río Servol tras una avenida.	14
Imagen 4. Embalse de Ulldecona.	15
Imagen 5. Prat de Cabanes-Torrevieja.....	16
Imagen 6.a) Río Mijares en la sierra de Gudar. y b) Río Mijares en la sierra de Espadán.....	28
Imagen 7. Desembocadura del río Mijares.....	28
Imagen 8. a) Río Villahermosa a su paso por Cedramán, Castellón. y b) Rambla de la Viuda en Castellón.....	28
Imagen 9. a) Embalse de Arenós. y b) Embalse de Schar.	29
Imagen 10. Embalse de Maria Cristina.	29
Imagen 11. Nacimiento del Río Palancia en Sierra del Toro.	47
Imagen 12. Delta del Palancia.	48
Imagen 13.a) Embalse del Regajo. y b) Embalse de Algar.....	48
Imagen 14. Marjal del Moro.	49
Imagen 15. Confluencia del río Guadalaviar (Izquierda) con el río Alfambra (Derecha).....	60
Imagen 16. Río Túria en su desembocadura en el Mar Mediterráneo. Fuente: Foto de autor.	60
Imagen 17. Río Alfambra en la Sierra de Gudar.	61
Imagen 18. a) Embalse del Arquillo de san Blas. y b) Embalse de Benagéber.	61
Imagen 19. Embalse de Loriguilla.	62
Imagen 20. a) Lagunas de Talayuelas. y b) Marjal de Rafalell y Vistabella.	63
Imagen 21. a) Embalse de Alarcón y b) Embalse de Contreras.....	85
Imagen 22. Río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca.	86
Imagen 23. Confluencia del río Júcar y el río Cabriel.....	86
Imagen 24. Desembocadura del río Jucar.....	87
Imagen 25. Río Cabriel a su paso por Pajaroncillo.....	87
Imagen 26. a) Albufera de Valencia y b) Las Torcas de Cañada Hoyo.....	89
Imagen 27. Embalse de Beniarrés.....	125
Imagen 28. Río Serpis en su desembocadura.	126
Imagen 29. Marjal de la safor.	127
Imagen 30. a) Cauce del río Girona seco. y b) Río Gorgos a su paso por el municipio de Jalón tras un episodio de lluvias en Noviembre de 2015.....	138
Imagen 31. Embalse de Isbert en el río Girona.....	138
Imagen 32. Marjal Pego-Oliva.	139
Imagen 33.a) Río Algar en Altea. y b) Río Amadorio en Villajoyosa.....	145
Imagen 34.a) Embalse del Rellu y b) Embalse de Guadalest.....	146
Imagen 35. Embalse de Amadorio.	146
Imagen 36.a) Nacimiento del río Vinalopó y b) Tramo medio del río Vinalopó entre Elda y Villena.....	158
Imagen 37. Desembocadura del río Monnegre en Campello.	158
Imagen 38.a) Embalse del Tibi. y b) Embalse de Elche.	159
Imagen 39. Salinas de Santa Pola.	160

8. Referencias bibliográficas.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. GOBIERNO DE ESPAÑA <<http://www.chj.es/>> [Consultado: Mayo de 2016]

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR. *Plan hidrológico de cuenca del Júcar 2015-2020*. <<http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2015-2021-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>> [Consultado: Mayo de 2016]

IGME. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. *“Identificación y caracterización de la interrelación entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de interés hídrico”*. <<http://info.igme.es/catalogo/default.aspx>> [Consultado: Mayo de 2016]

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. GOBIERNO DE ESPAÑA. <<http://www.magrama.gob.es/es/>> [Consultado: Mayo de 2016].

MORIASI D. N., ARNOLD J. G., VAN LIEW, BINGNER R. L., HARMEL R. D., VEITH T. L. (2007). “Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations” en *American Society of Agricultural and Biological Engineers* [Consultado: Mayo de 2016]

PÉREZ MARTÍN M.A., ESTRELA T., ANDREU J., FERRER J. (2014). “Modeling Water Resources and River-Aquifer Interaction in the Júcar River Basin, Spain” en *Springer Science+Business Media Dordrecht*. <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11269-014-0755-3>> [Consultado: Mayo de 2016]